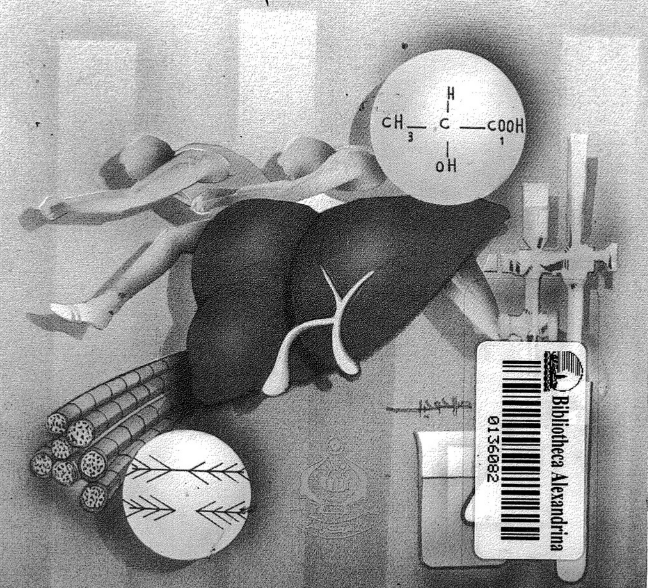
التمثيل الحيوى للطاقة في المجال الرياضى

الدكتور بهاء الدين إبراهيم سلامة



التمثيل الحيوى للطاقة
فى
المجال الرياضى

الأستاذ الدكتور
بهاء الدين إبراهيم سلامة
أستاذ فسيولوجيا الرياضة
رئيس قسم علوم الصحة الرياضية
كلية التربية الرياضية جامعة المنيا

١٤١٩هـ / ١٩٩٩م

ملتزم الطبع والنشر
دار الفكر العربى
الإدارة : ٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة
ت : ٢٧٥٢٩٨٤، فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

٦١٧,١٠٢٧ بهاء الدين إبراهيم سلامة.
ب هـ ت م
التمثيل الحيوى للطاقة فى المجال الرياضى/ بهاء الدين إبراهيم سلامة. ـ القاهرة: دار الفكر العربى، ١٩٩٩.
٢١٣ ص: إيض؛ ٢٠سم.
ببليوجرافية: ص٢٠٩-٢١٣.
يشتمل على ثبت بالمصطلحات المتصلة بموضوع الكتاب.
تدمك : ٠ - ١٢١٥ - ١٠ - ٩٧٧.
١- الطب الرياضى. أ- العنوان.

تصميم وإخراج فنى
أحمد محمد هاشم نجم



مقدمة الطبعة الأولى

تهتم العلوم البيولوجية بدراسة مظاهر الحياة فى الكائن الحى، وذلك لأن شكل ووظيفة الجسم وأجزائه المختلفة عبارة عن وحدة واحدة متكاملة، ولذلك لا يمكن دراسته كأجزاء مستقلة عن بعضها البعض.

ويؤدى التدريب البدنى إلى تغيرات فسيولوجية وكيميائية داخل الخلية العضلية لإطلاق الطاقة اللازمة للأداء الرياضى، نتيجة زيادة نشاط الهورمونات والإنزيمات ومواد الطاقة التى تشترك فى عمليات التمثيل الغذائى.

ويتوقف تقدم المستوى البدنى والرياضى للفرد على مدى إيجابية التغيرات الكيميائية بما يحقق التكيف لأجهزة وأعضاء الجسم لكى تواجه الجهد والتعب الناتج عن التدريب البدنى.

وترتبط عمليات التمثيل الغذائى والعمليات الحيوية المختلفة التى تتم فى الخلايا ارتباطا وثيقا بعمليات التمثيل الحيوى للطاقة، حيث تشير إلى حالة اتزان العمليات الكيميائية فتتكون مركبات بسيطة من مركبات أخرى أكثر تعقيدا، ثم يصحب ذلك إنتاج طاقة يمكن للفرد استخدامها فى نشاطه اليومى، وكذلك عند ممارسة التدريبات البدنية المختلفة.

ويعد علم الكيمياء الحيوية أحد فروع العلوم البيولوجية الذى يعنى بدراسة كيمياء العمليات الحيوية والتركيب الكيميائى لمختلف المواد الغذائية، وهو يدرس أيضا التغيرات الكيميائية التى تحدث أثناء إطلاق الطاقة.

ويرى المؤلف أن المعلومات الفسيولوجية والكيميائية لا يمكن الفصل بينها عند دراسة أى ظاهرة من ظواهر الحياة فى الفرد؛ سواء فى حالة الراحة أو عند التدريب البدنى، بل يرى المؤلف ضرورة الإلمام بهما معا حيث يؤثر كل منهما فى الآخر، ويساعد التعرف على التغيرات الكيميائية التى تحدث داخل الجسم إلى سهولة التعرف على التغيرات الفسيولوجية وأسباب حدوثها.

وقد دعت الحاجة التى لمسها المؤلف من الخبرة العملية فى تدريس مواد علوم الصحة الرياضية إلى ضرورة توافر مرجع يتناول عمليات التمثيل الحيوى للطاقة عند ممارسة التدريب البدنى؛ لأهمية ذلك فى فهم مختلف التغيرات التى تحدث للجسم وأسباب كل منها، وخاصة أن هناك نقصا فى المراجع العربية التى تناولت هذا الموضوع الهام.

من أجل ذلك تم اختيار موضوعات هذا الكتاب بعناية لتتمشى مع احتياجات الطلاب والباحثين فى كليات التربية الرياضية، حيث اشتمل الكتاب على عمليات التمثيل الحيوى للمواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية بعد هضمها وامتصاصها وكيف تتم الاستفادة منها أثناء التدريبات البدنية.

واشتمل الكتاب أيضا على موضوعات الطاقة فى عمليات التمثيل الحيوى والوظائف الحيوية للهورمونات والإنزيمات، وكذلك التمثيل الهوائى واللاهوائى للطاقة وغيرها من الموضوعات الحيوية التى تهم الباحثين والطلاب فى مجال العلوم البيولوجية وعلوم التربية الرياضية.

ويسعد المؤلف أن يقدم هذا الكتاب الجديد فى عنوانه ومحتوياته وفكرته إلى جميع العاملين فى مجال الرياضة والتربية الرياضية، وآمل أن يحقق الهدف الذى نرجوه له وأن يسد نقصا فى المكتبة العربية.

والله الموفق..

المؤلف

الأستاذ الدكتور

بهاء الدين إبراهيم سلامة

١٩٩٩

قائمة المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة

الفصل الأول

التمثيل الغذائى للكربوهيدرات فى العضلات الإرادية أثناء التدريب البدنى

الفصل الثانى

التمثيل الغذائى للدهون أثناء التدريب البدنى

الفصل الثالث

التمثيل الغذائى للبروتينات

الفصل الرابع

الطاقة فى عمليات التمثيل الغذائى

الفصل الخامس

الوظائف الحيوية للهورمونات

الفصل السادس

الوظائف الحيوية للانزيمات

الفصل السابع

التمثيل الهوائى للطاقة

الفصل الثامن

التمثيل اللاهوائى للطاقة

الفصل التاسع

عمليات الاستشفاء

الفصل العاشر

المصطلحات المتصلة بموضوع الكتاب

* * *

الفصل الأول

التمثيل الغذائى للكربوهيدرات فى العضلات الإرادية
أثناء التدريب البدنى



- مقدمة:
- تحلل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز بالعضلات
- العوامل المحددة فى استهلاك الجلوكوز بالعضلات
  - العوامل المحلية أو الموضعية
  - التنظيم الهورمونى
- العوامل المؤثرة في تمثيل كربوهيدرات العضلات أثناء التدريب البدنى
  - نوعية التمرين
  - طريقة التدريب
  - الغذاء
  - درجة حرارة البيئة المحيطة
  - الجنس
- تمثيل الطاقة الكبدية أثناء التدريب البدنى
- خروج الجلوكوز من الكبد أثناء التدريب البدنى
- تنظيم خروج جلوكوز الكبد بطريقة التعويض أثناء التدريب
- علاقة التغذية المستمرة بتدفق جلوكوز الكبد أثناء التدريب

* * *

- التمثيل الغذائى للكربوهيدرات فى العضلات الإرادية أثناء التدريب البدنى:

Skeletal Muscle Carbohydrate Metabolism During Training:

المقدمة:

منذ السنوات الأولى من هذا القرن ازدادت الحاجة من قبل العاملين فى مجال فسيولوجيا الرياضة والتدريب الرياضى للتعرف على أهمية المواد الكربوهيدراتية كمصدر للطاقة أثناء التدريب البدنى بمختلف أنواعه، مما دفعهم إلى إجراء البحوث والدراسات المعملية والميدانية بغية التوصل إلى مختلف التغيرات التى تحدث أثناء التدريب، واعتمدت تلك الدراسات على قياسات نسبة التغيرات البيوكيميائية فى الدم والعضلات أثناء التدريب البدنى الهوائى واللاهوائى.

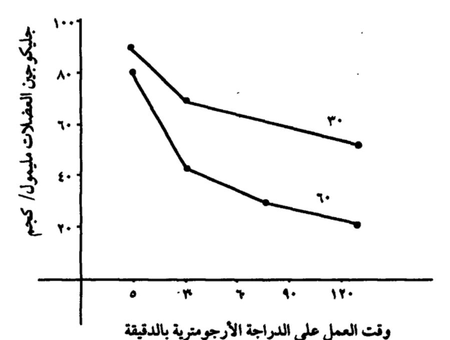
وركزت معظم هذه الدراسات على قياس نسبة تركيز الجلوكوز، (المشع والمباشر من خلال الشرايين والأوردة) وقد اختلفت نسبة تركيز الجلوكوز فى الأطراف التى تعمل، ودلت نتائج عديد من الأبحاث على أن نسبة تركيز الجلوكوز بالعضلات العاملة تزداد أثناء التدريبات البدنية التى تتصف بالتحمل.

وقد طبقت فى السابق (فترة الستينيات ١٩٦٠) طريقة أخذ عينة بالإبرة من العضلة فى أثناء التدريب وأكدت على أهمية ومقدرة جليكوجين العضلة (Muscle Gly-cogen) فى إنجاز التدريب البدنى الذى يتصف بالتحمل.

وعبر آخر (٢٥سنة) أثبتت نتائج الأبحاث المعملية التى أجريت على الرياضيين أنه توجد نتائج غاية فى الأهمية عن مدى تأثير المجهود البدنى العنيف على عمليات تمثيل الكربوهيدرات فى العضلات الإرادية، واستخدمت طرق عديدة فى التدريب والقياس حتى الوصول إلى مرحلة التعب (Fatigue) أثناء الأداء، وأهمية الاهتمام بعمليات التغذية أو الإعداد الغذائى للرياضيين على غرار الإعداد البدنى أو الإعداد الفنى للألعاب والرياضات المختلفة.

جليكوجين العضلة وجلوكوز الدم (Muscle Glycogen and Blood Glucose) من المواد المهمة جـدا فى تكوين ما يعرف بـ ATP أثناء الانقباض العضلى، وتفيد نتائج الدراسات الحديثـة فى هذا المجال أهمية كل منهمـا أثناء التدريبات البدنيـة الطويلة، كما أشـارت تلك الدراسات إلى أن التـعب العـضلى غـالبا مـا يكون مـصحـوبا بنقص فى جليكوجين العـضلة أو جلوكـوز الدم، كـما أن نقص أى منهـمـا يؤدى إلى نقص فى حامض البـيروفك (Pyruvic Acid) وهذا بدوره يؤثر علـى تكوين أسـتـيل كـوانزيم (Acetyl CoA) وكذلك تتـأثر التفاعلات التى تسـاعد فى تكوين مادة تراى كربوكـسيل TCA (Tricarboxylic) وكل ذلك يؤثر سلبيا فى عمليات الأكـسدة الخاصة بالأحماض الحرة والأحماض الأمينية (Free Fatty and Amino acid).

توجد مادة بالعضلة تسمى إينوزين مونو فوسفات (Inosine Monophosphate) IMP، تبين أنها تزداد عند نقطة التعب العضلى، وهى مرتبطة بتكوين مادة ATP، وقد وجد أن مستوى تركيز ATP بالعضلة يقل من ١٠-١٥٪ ، وقد تبين أن مـستوى ATP بالعضلة لا يقل أثناء التمرينات الطويلة أو المستمرة، وأن إمداد العضلات بالكربوهيدرات أثناء التدريب يتسبب فى بقاء مستوى ATP ودورته بالدم وذلك يساعد على تقليل تراكم IMP بالعضلة.



شكل (١) جليكوجين العضلة أثناء العمل على الدراجة الأرجومترية

عن (جولنك وآخرون ١٩٨٨ ,Gollnicke et al, 1988)

تحلل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز بالعضلات:

Muscle Glycogen Breakdown and Glucose uptak:

تستخدم القياسات البيوكيميائية والهستوكيميائية في التعرف على نسبة تركيز الجليكوجين فى العضلات الإرادية أثناء التدريبات البدنية المختلفة، ويختلف تحلل الجليكوجين بهذه العضلات تبعا لشدة ودوام التدريبات وأيضا تبعا لنوع الألياف العضلية. وقد اهتم كثير من الباحثين بهذا الموضوع بهدف التوصل إلى معايير محددة لشدة التمرينات التى عندها يزداد أو يقل تحلل جليكوجين العضلات.

وتشير نتائج دراسات عديدة فى هذا المجال إلى أن تركيز جليكوجين العضلات ينخفض عند التدريب البدنى عالى الشدة، كما وجد أنه عند أداء التمرينات البدنية متوسطة الشدة ولمدة طويلة وعند معدل من ٦٠-٧٥٪ من أقصى استهلاك للأكسجين لا يتأثر كثيرا تحلل جليكوجين العضلات، وتؤثر أنواع الألياف العضلية (البيضاء والحمراء) فى نسبة هذا التحلل.

ويؤدى الانقباض العضلى إلى زيادة فى استهلاك الجلوكوز، وكذلك زيادة إفراز الأنسولين الذى يساعد على تلك الزيادة، وأثبتت إحدى الدراسات الهامة، فى هذا المجال، أنه فى حالة الراحة تستهلك العضلات من ١٥-٢٠٪ من نسبة الجلوكوز بالدم، بينما عند العمل على الدراجة الأرجومترية بشدة من ٥٥-٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين تبين أن عضلات الرجلين المشتركة فى العمل على الدراجة أدت إلى زيادة فى استهلاك الجلوكوز بلغت من ٨٠-٨٥٪ من مجموع الجلوكوز الموجود بالجسم.

وتجدر الإشارة إلى أن عملية توصيل وانتشار الجلوكوز بالخلايا العضلية يحدده عدة عوامل، ويتأثر بكثير من المواقف التى يتعرض لها الفرد الرياضى والتى تساعد بقدر أو بآخر فى قلة أو زيادة استهلاك الجلوكوز أثناء التمرينات البدنية مختلفة الشدة.

العوامل المحددة فى استهلاك الجلوكوز بالعضلات:

Regulation of Skeletal Muscle Glucose Uptake:

على الرغم من زيادة تحلل الجليكوجين لإنتاج الجلوكوز، وكذلك زيادة إنتاج الأنسولين (Insulin) أثناء التمرينات البدنية يلاحظ أن هناك مجموعة من العوامل تتداخل وتتفاعل جميعا لتحدث الزيادة فى استهلاك الجلوكوز بالعضلات، وسوف نلقى الضوء على هذه العوامل كما يلى:

١ - العوامل المحلية أو الموضعية: Local Factors

تعتبر العوامل المـوضعية أوالمحلية (Local Factors) من بين أهم عوامل كـثيرة تساعد على زيادة استهلاك الجلوكوز بالعضلات.

ونشـيـر هنا إلى أن نقل الجلوكـوز (Glucose Transport) عبر غـشاء الخلية العضليـة يتم بآلية تعمـل على دخول وتغلغل ميـسور للجلوكوز من خـلال عملية غـير معـتمـدة على الطاقة، ولكنهـا تعتمـد على آلية ومـيكانيكية التـشبع من خـلال الحامل الغشائى أو العابر الغشائى للخلية.



شكل (٢) استهلاك الجلوكوز أثناء العمل على الدراجة الأرجومترية

عن (البورج وآخرين، 1992Ahlborg,et al)

وقد أثبتت نتـائج الدراسات المعملية فى هذا المجـال أن نفاذ الجلوكوز عبـر غشاء الخلية يزداد أثناء التمـرينات البدنية، وتفيد نتائج دراسـات أخرى فى هذا المجال أن هذه الزيادة فى النفاذية تتـم نتيجة تنشـيط وتحريك المخزون داخل الخليـة العضلية، كـما أن زيادة نقل الجلوكوز واستهلاكه يكون أكثر من زيادة نفاذيته فى غشاء الخلية.

وتوجد بعضلات جسم الإنسان مجموعة من المواد التى تساعد على تسهيل نفاذ الجلوكوز داخل الخلايا، وهذه المسهلات أو المحفزات تعرف باسم إيزو فورم (Isoforms) ومنها مادة تعرف بـ (Glut 1)، (Glut 4)، ويعتقد أن (Glut 1) ينتج من الأعصاب الحركية والأوعية الدموية داخل الخلايا العضلية.

وتشير نتائج الدراسات الحديثة فى هذا المجال إلى أن الانقباض العضلى ينتج عنه زيادة فى مادة (Glut 4) وأن مستواه فى العضلة يرتبط ويتناسب مع قابلية الأكسدة ونوعها، ويتناسب أيضا مع زيادة حمل التدريب أو مع العمر التدريبى للرياضى.

كما أن زيادة الكالسيوم فى ساركوبلازم الخلية (Sarco Plasmic) (Calcium) أثناء الانقباض العضلى غالبا ما يؤثر فى تنشيط نقل الجلوكوز والأكسجين وبطريقة ميكانيكية منتظمة تعتمد على إيقاع العمل البدنى، وتلك التأثيرات للكالسيوم ممكن أن تتم عن طريق تغيير وتنشيط البروتين كاينيز (Protein Kinase) ورغم ذلك فإن هذا المجال مازال تحت الدراسة من قبل الباحثين حيث إن العلاقة بين النشاط الانقباضى وتمثيل الفوسفو إينوستيول (Phosphoinositol) ونقل الجلوكوز (Glucose transport) غير واضحة تماما حتى الآن.

فى معظم الأحيان تعتبر عملية النقل الغشائى للجلوكوز محدودة بالنسبة لاستهلاك العضلة، وذلك على الرغم من أن عملية فسفرة الجلوكوز واستهلاكه تعتبرعملية معقدة ومحيرة فى أثناء التدريب متوسط الشدة، أما عند التدريب عالى الشدة فإن مستوى الجلوكوز الفوسفاتى (Glucos-6-P) يزداد مما يؤدى إلى الإسراع فى عملية تحلل الجليكوجين، وذلك يؤدى إلى تثبيط فسفرة الجلوكوز واستهلاكه.

إن التمثيل الغذائى داخل الخلية العضلية المنقبضة من الممكن أن يؤثر على استهلاك العضلة من الجلوكوز، كما أن نقص الأكسجين يحفز نقل الجلوكوز واستهلاكه، ونقص الأكسجين والتدريب يؤديان إلى تسهيل نقل الجلوكوز عن طريق ميكانيكية واحدة، والعمل البدنى اللاهوائى يؤدى إلى زيادة استهلاك الجلوكوز.

وتفيد نتائج دراسات عديدة أن امتصاص الجلوكوز ونقله واستهلاكه أثناء التدريب البدنى يرتبط بالسعة التنفسية لدى الفرد الرياضى، وهو يرتبط بمستوى الكرياتين فوسفات (Creatine Phosphate) حيث إنه عند مستوى من ٥٥-٦٥٪ من أقصى استهلاك

للأكسجين يكون امتصاص ونقل الجلوكـوز عاليا لدى الرياضيين المدربين، بينما ينخفض لدى غير المدربين.

٢- التنظيم الهورمونى: Hormonal Regulation

يعتبـر النظام أو التنظيم الهورمونى (Hormonal Regulation) ذا علاقـة وطيدة باستهلاك الجلوكـوز، حيث يؤدى هورمون الأنسولين (Insulin) دورا بالغ الأهمـية فى تنظيم امتصاص الجلوكوز، مما أثار اهتمام الباحثين فى مجال فسيولوجيا الجهد البدنى فى الفترة الأخيرة.

وكان الاعـتقاد السائد هو أن كـمية معـينة من الأنسولين تكون مسئولة عن زيادة امـتصـاص العضـلات للجلوكوز أثناء المجـهـود العضلى، على الرغم من أن مـستـوى الأنسولـين فى بلازما الدم يقل أثناء القـيام بجـهد بدنى، ولكن ثبت مـؤخرا من نتـائج البحوث الحديثة فى هذا المجال أن الانقبـاض العضلى يمكنه أن يزيد امتصاص العضلات للجلوكوز، كـما يساعد على زيادة عدد نـاقلات الجلوكوز فى الغشاء البـلازمى حتى فى حالة نقص هورمون الأنسولين.

كما أن تأثيـر المجهود العضلى فى نقل الجلوكوز يكون أسـاسا مصاحبـا لعمليات الانقبـاض، كما لاحظت دراسات عـديدة أن تأثير الأنسولين والانقبـاض العضلى يكون إضـافيـا؛ نظرا لأن الأنسـولين والتـمـرين ينشطان عـمليـات نقل الجلوكـوز عن طريق ميكانيكـية مخـتلفة مع الوضع فى الاعـتـبار أن كلا من الأنسـولين والانقبـاض العضلى يساعدان على تبادل موضع (Glut 4) وأنهم يشغلون أقطاب مختـلفة فى عمليات النقل الإلكترونى داخل غشاء الخلية العضلية.

إن قابلية نشاط فعل الأنسولين فى عضلات الإنسـان ومستقبلاته بنفس العضلات غيـر مرتبطة أو متعلقـة بالتدريب البدنى مـرتفع الشدة، وكذلك فإن الأنسـولين لا يبدو مهما فى تثبيط نقل الجلوكوز وامتصاصه عبر العضلات أثناء التمرين.

إلا أن ذلك لا يقـودنا إلى القـول بـأن الأنسـولين ليس له أهمـيـة فى امـتـصـاص الجلوكوز أثناء التدريب البدنى منخفض أو مرتفع الشدة.

إن التدريب البـدنى تظهر أهمـيته فى أنه يسـاعد على زيادة حسـاسية العـضلات لمفعـول الأنسولين، ومع زيـادة مرور الدم بالعضـلة نتيجـة زيادة نشاط الدورة الـدموية

الشريانية أثناء الجهد البدنى فإنه يمكن التغلب جزئيا على نقص نسبة الأنسولين فى بلازما الدم، وقد اتضح أن نسبة تأثير الأنسولين والتدريب البدنى على امتصاص العضلة للجلوكوز هو تأثير متآزر أو تأثير متصل بعضه بالبعض الآخر.

وكذلك الزيادة فى نسبة تدفق الجلوكوز المصاحب للتدريب ممكن أن تزيد من عمليات أكسدة الجلوكوز عند التأثير الأعلى للأنسولين.

وعند زيادة نسبة الأنسولين بدرجة ملحوظة فى بداية التدريب البدنى ينتج انخفاض حاد فى الجلوكوز بالدم كنتيجة طبيعية لزيادة أكسدته أثناء الانقباض العضلى.

وقد ثبت أن نقص الأنسولين يضعف من امتصاص الجلوكوز بنسبة حوالى ٥٪ فى الأفراد المدربين ويؤثر على عمليات تحلل الدهون، وربما له تأثير على تحلل الجليكوجين.

ونظرا لأن التداخل بين الأنسولين والتدريب البدنى قد تمت دراسته فإن دور هورمون الإدرنالين يؤثر على تغيير استهلاك العضلات للجلوكوز، حيث يعمل على زيادة نقل الجلوكوز عبر غشاء الخلية.

٣- توفر المادة : Substrat Availability

هذا العامل (Substrate Availability) يعمل على توضيح العلاقة بين توفر الجليكوجين داخل العضلة واستهلاك تلك العضلة للجلوكوز أثناء التدريب البدنى.

أوضحت الدراسات فى هذا المجال أن استهلاك الجلوكوز يعتمد على انخفاض الجليكوجين فى العضلة، كما أن فقد الجليكوجين فى العضلة غير المنقبضة أثناء التدريب البدنى يصاحبه زيادة فى نقل الجلوكوز على الرغم من احتمالية وجود بعض المخفزات الهورمونية.

وقد وجدت علاقة عكسية بين جليكوجين العضلة وامتصاص تلك العضلة للجلوكوز وهى تعكس ببساطة شديدة التأثير المنفرد للتدريب البدنى على تحلل الجلوكوز وامتصاصه من قبل العضلات.

إن التدريب البدنى وتناول الغذاء الصحى الغنى بالمواد الكربوهيدراتية (جليكوجين العضلة) قبل التدريب بوقت كاف يؤدى إلى تغيرات فى امتصاص العضلة للجلوكوز أثناء التدريب، كما أن انخفاض جليكوجين العضلة دائما ما يكون مصحوبا بزيادة فى

استخـلاص الجلوكوز من الدم أثناء التدريب البـدنى، كما أن عملـية امتصـاص وأكسدة الجلوكوز يتناسب تناسبا طرديا مع نسبة الألياف العضلية العاملة.

وأثبتت نتائج دراسة حديثـة أن زيادة جليكوجين العضلة قبل التدريب ينقص من امـتصـاص الجلوكـوز، بينما نـقص جليكوجين العـضلة قبل التـمـرين يؤدى إلى زيادة امتصاص الجلوكوز.

ومن المتعارف علية أن تناول المواد الكربوهيـدراتية يكون له تأثير إيجابى فى تحسن الأداء حيث يساعد على وفرة الجليكوجين بالعضلة.

كما أننا بحاجة إلى معرفة تأثيـر نسبة الأحماض الدهنية الحرة بالدم (Free Fatty Acids) والتى تعرف بـ(FFA) على عمليات امتصاص الجلوكوز أثناء التدريب البدنى.

ومنذ حوالى ثلاثـين عاما أجـرى راندل وآخرون Randle ١٩٦٨) دراسة حول الأحمـاص الدهنية الحرة ودورتهـا مع الجلوكوز، وقد بـينت النتائج أن زيادة امتـصاص وأكسدة (FFA) يكون ناتجا عن ارتفـاع نسبته فى الدم والذى أدى بدوره إلى تثـبيط فى نشاط (فوسفو فركتو كينيز Phospho Frutokinase) والذى يعرف بـ(PFK) وقد ينتج عن ذلك زيادة فى نسـبـة جلوكـوز سكس فـوسـفـات (G6P) أى فسـفرة الجلـوكوز وامتصاصه.

كما أن هناك دراسـتين حديثتين بينتا أنه ليس هناك تأثير فى زيادة المواد الكتـيونية (نواتج احتراق الدهون) على امتصاص العضلة للجلوكوز.

كـما أنه من المـعتـقد أن دورة الجـلوكوز والأحـمـاض الدهنية تعـمل فـقط فى العضلات الحمراء أثناء الراحة من التدريب، أما فى حالة الجهد البدنى فإن زيادة (FFA) يكون مصاحبا بنقص فى استهلاك الجلوكوز.

وعند بذل جهـد بدنى متوسط الشدة ترتفع المواد الدهنيـة الحرة بالدم (FFA) إلا أنها لا تؤدى إلى زيادة أكسدة الجلوكـوز، وأن نسبة التغيرات التى تحـدث فى نسبة تمثيل الجلوكوز والجليكوجين والأحـماص الدهنية الحرة لازالت حتى الآن بحـاجة إلى إجراء مزيد من الدراسات من قبل الـباحثين والعلماء المهتمين بهذا المجـال بحيث تتناول عينات مختلفة العـمر وتخضع لبرامج تدريبية وغذائيـة مختلفة حتى يمكنه متابعـة نوع التغيرات المتوقع حدوثها.

* * *

العوامل المؤثرة فى تمثيل كربوهيدرات العضلات

أثناء التدريب البدنى

سبق أن تناولنا العوامل المحددة فى استهلاك الجلوكوز بالعضلات، ونستعرض هنا أهم العوامل المؤثرة فى تمثيل العضلة للجليكوجين وكذلك امتصاص واستهلاك الجلوكوز أثناء التدريب البدنى.

١- نوعية التمرين: Exercise Mode

من المحتمل أن يكون استهلاك جليكوجين العضلات أثناء الجرى أكثر منه أثناء ركوب الدراجة، ولكن قد يؤثر نوع الجرى أو مدة ركوب الدراجة على نسبة هذا الاستهلاك.

والعامل المهم فى ذلك أو فى نوعية التمرين هو الاختلاف فى شكل وإيقاع حركة الرجلين فى كل من الجرى أو ركوب الدراجة، على الرغم من أن العضلات العاملة قد تكون متشابهة (العضلة الرباعية الأمامية - العضلات الخلفية... إلخ) حيث التبادل فى عمليات الانقباض والارتخاء تكون متشابهة، ولكن قد يختلف إيقاع كل منهما عن الآخر وبالتالى تزداد أو تقل نسبة استهلاك جليكوجين وجلوكوز العضلات.

كما أن تمرين الذراع بواسطة مجهاد الذراعين يؤدى إلى زيادة تحلل الجليكوجين وتكوين اللاكتات بنسبة أكثر من تمرين الرجلين وبنفس درجة شدة التمرين - وهذا يسبب تدفق الدم إلى كل منهما وإفراز الهورمونات، وإذا ما تم العمل العضلى للرجلين والذراعين فى نفس الوقت يلاحظ أنه قد حدثت زيادة فى نسبة تحلل الجليكوجين وامتصاص الجلوكوز.

٢- طريقة التدريب: Training Methode

تؤثر طريقة التدريب فى نسبة تمثيل الكربوهيدرات فى الجهاز العضلى، وعلى سبيل المثال تعتبر تدريبات التحمل من أحسن طرق التدريب التى تساعد على زيادة تحلل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز وزيادة عمليات الأكسدة، كما أنها تساعد على زيادة تحلل الدهون.

٣- الغذاء: Diet

تناول الفرد الرياضى لكميات كبيرة من المواد الكربوهيدراتية يكون مصحوبا بأكسدة لتلك المواد أثناء التدريب البدنى، وتزداد عمليات أكسدة العضلة للجلوكوز.

أما فى حالة افتقار غذاء الرياضى للمواد الكربوهيدراتية فإن ذلك يؤدى إلى زيادة فى تمثيل المواد الدهنية واستهلاكها، وفى حالة نقص الغذاء يتضح تأثير فعل هورمون الأنسولين (Insulin) والجلوكاجون (Glucagon)، والكاتيكولامين (Catecholamins) وهذا يؤدى إلى تغير فى كل من جليكوجين العضلة (muscle glycogen) وجلوكوز الدم (Blood Glucose)، والدهون الحرة فى بلازما الدم (Plasma FFA).

كما أن جليكوجين العضلات لا يتغير بصورة كبيرة فى حالة الجوع أو افتقار غذاء الرياضى للمواد الكربوهيدراتية.

٤- درجة حرارة البيئة المحيطة: Environment

زيادة درجة حرارة البيئة التى يمارس فيها التدريب تؤثر على تمثيل الكربوهيدرات.

حيث إن زيادة درجة الحرارة تزيد من تكسير وتحلل الجليكوجين بالعضلة، كما تزداد نسبة تركيز اللاكتات فى الدم والعضلات، ويصاحب ارتفاع درجة حرارة الجو أيضا زيادة فى نسبة جلوكوز الدم.

ويعتقد أن كل ذلك نتيجة ردود أفعال زيادة درجة حرارة الجو على عمليات التمثيل الحيوى للطاقة المتمثلة فى الكربوهيدرات، وهى مرتبطة بنقص فى كمية

الأكسجين بالعضلات العاملة تحت ظروف العمل اللاهوائى، ويصاحب هذه الحالة زيادة فى إفراز بعض هورمونات الدم مثل الإدرنالين.

وتلعب عمليات التكيف على الجو الحار دورا بارزا فى تقليل فعل الحرارة على العمليات السابقة، وكذلك تلعب عمليات التدريب الجيد دورا بارزا على هذه العوامل حيث تقل نسبة التأثير السلبى على الرياضيين المميزين أو العالميين.

ويوضح الجدول التالى استجابة عمليات التمثيل الغذائى أثناء التدريب البدنى فى الجو الحار على بعض المتغيرات.

جدول (١) تأثير الحرارة على استجابة عمليات التمثيل الغذائى

المتغيرات	درجة حرارة ٢٠ْم	درجة حرارة ٤٠ْم
جلوكوز الدم (مليمول/ لتر)	٤,٦ ± ,٠١	٥,٥ ± ,٠٢
لاكتات الدم (مليمول / لتر)	١,٨ ± ٠,٣	٣,٧ ± ٠,٥
بلازما إينبفرين (جرام / ملليتر)	٣٢٣ ± ٤٤	٤٨٩ ± ٧٢
لاكتات العضلات (مليمول / كجم)	-,١٢ ± ٢,٠	٢٠,٧ ± ٢,٢
الجليكوجين (مليمول / كجم)	١٦٦ ± ٢٠	٢١٨ ± ١٨

كما أن انخفاض استهلاك العضلة للجليكوجين لا يصاحبه تغير فى تبادل مواد الطاقة الأولية بالدم، كما يلاحظ أن العمل البدنى اللاهوائى يساعد على إفراز كمية أكبر من هورمون الإدرنالين مما يعمل على زيادة أكسدة الجلوكوز وتحلل الجليكوجين، وهذا بدوره يعمل على تكوين حامض اللاكتيك بالعضلات وبعدها ينتقل إلى الدم.

٥- الجنس: Gender

تعرضت بعض الدراسات لتوضيح أو عقد بعض المقارنات بين الذكور والإناث فى حالة اخضاعهم لبرامج تدريبية واحدة.

وتناولت هذه الدراسات التعرف على متغيرات الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، تركيب الجسم - نسبة الدهون - هورمونات الدم - أحماض الدم - وغيرها من المتغيرات الفسيولوجية.

وقد دلت نتائج هذه الأبحاث أن الإناث أقل من الذكور فى تأثير برامج التدريب الواحدة على كل من المتغيرات الفسيولوجية سابقة الذكر، مع ملاحظة أن الإناث تفوقن على الذكور فى بعض المتغيرات المرتبطة بهن كإناث مثل دهون الجسم على سبيل المثال.

بينما أظهرت نتائج بعض الدراسات التى أجريت على الذكور والإناث واستخدمت البساط المتحرك فى برامج التدريب المستخدمة أظهرت النتائج أنه لا توجد فروق بين الذكور والإناث فى درجة تأثير هذه البرامج أو فى استجابة بعض المتغيرات التى تم قياسها.



تمثيل الطاقة الكبدية أثناء التدريب البدنى:

Hepatic Fuel Metabolism Durin Training:

عند قيام الفرد الرياضى بمجهود بدنى تخرج كـمية إضافية من الجلوكوز من خلايا الكبد إلى الدورة الدموية للمـحافظة على نسبة جلوكوز الدم حـتى لا يحدث هبوط فى هذه النسبة عن معدلها الطبيعى فى الفرد والتى تتراوح من ٨٠-١١٠ مليجرام٪.

وأثبت علمـاء الطب وفسيـولوجيـا الجهد البـدنى أنه من خلال اسـتخـدام مواد كيميائية مشعة تلتـصق بجزيئات جلوكوز الدم، تبين أن خروج الجلوكوز المخزون بالكبد يكون بنسبة تتراوح من ٣-٦ مرات زيادة عن الحالة الطبيعية (عدم القيام بجهد بدنى).

ومؤخـرا أثبتت التجـارب التى تمت عن طريق (ميـشيل Michel ١٩٩١) (مارك Mark ١٩٩٥)، (مارليز Marliss ١٩٩١)، بهدف قياس نسبة الجلوكوز فى الدورة البابية للجهاز الهضمى، اتضح أن زيادة إنتاج الجلوكـوز تعادل ٢٠ مليمول / لكل كيلو جرام من وزن الجسم في الدقيقة الواحدة، ويقابلها استهلاك كمية من الأكسجين تعادل حوالى ٢,٢-٣,٢ لتر أكسجـين فى الدقيقة، وذلك يتم باستخـدام قسطرة تدخل إلى الشرايين والأوردة إلى الدورة البابية.

ويؤخذ على هذه الطريقة هى أن كـمية الجلوكوز التى يتم قياسـها ليس بالضرورة أن تكون خارجة من الكبد بالتحديد؛ وذلك لأن بعض الجلوكـوز يمتص بكميات متفاوتة من الأمعاء الدقيقة، وذلك تبـعا لنوع الكربوهيدرات التى تم تناولها، هل هى أحادية أم ثنائية، وغيـرها من العوامل التى تتداخل بحـيث تؤثر على ضبط عملية القـياس السابق ذكرها.

إلا أن (رويـل Rowell ١٩٩٦) أجـرى تجربة مـهمـة على عينة من الرياضـيين والأفراد العاديين، وقد أوضحت نتائج دراستـه أن كمية الجلوكوز التى يفرزها الكبد إلى الدورة الدموية أثناء التدريبـات البدنية تعادل ثلاث مرات كميـة الجلوكوز التى تخرج فى حالة الراحة.

وتطالعنا آخر التجارب التى أجريت فى هذا المضمار بحقيقة أجمع عليها غالبية علماء فسيولوجيا الجهد البدنى وهى أن كمية الجلوكوز التى تخرج من الكبد فى حالات التدريبات متوسطة الشدة تعادل من ٣-٤ مرات خروجها فى الأحوال العادية، أما فى حالة التدريبات عالية الشدة فإن كمية الجلوكوز تصل من ٧-١٠ مرات عن الحالة العادية أى حالة الراحة.

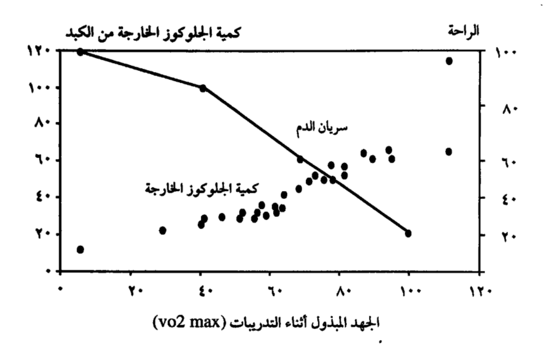
وعلى ذلك يمكن استخلاص أن كمية الجلوكوز التى تخرج من الكبد إلى الدورة الدموية تتناسب تناسبا طرديا مع شدة التدريبات البدنية.

وزيادة في الإيضاح فإن التدريبات متوسطة الشدة أى أقل من (٦٠٪ من Vo2 max) تظل نسبة الجلوكوز فى الدم ثابتة تقريبا على الرغم من الزيادة النسبية لاستهلاك الجلوكوز في العضلات العاملة.

أما فى حالة قيام الفرد بمجهود بدنى لمدة طويلة وبنفس الشدة السابقة ٦٠٪ من (Vo2 max) ولكن لفترة زمنية طويلة أكثر من ساعتين فإنه يحدث زيادة فى خروج الجلوكوز الكبدى إلى الدورة الدموية ثم إلى العضلات العاملة وعندئذ يتحول جليكوجين الكبد إلى جلوكوز يستمر دفعه إلى الدورة الدموية.

بينما فى حالة قيام الفرد بمجهود بدنى عالى الشدة من (٨٠-٩٠٪ من الـ Vo2 max) فإن ذلك يعمل على زيادة خروج الجلوكوز من الكبد، بمعنى أن احتياج العضلات العاملة للجلوكوز تحفز الكبد على تحلل الجليكوجين المخزون به ليندفع إلى الدورة الدموية للوفاء بمتطلبات العضلات.

وهذا يعنى أن هناك طرقا بيولوجية يقوم بها الجسم (الكبد - الهورمونات) وهى طرق تعويضية تحافظ على نسبة الجلوكوز فى الدم أثناء قيام الفرد بمجهود بدنى.



شكل (٣) يوضح تأثير الجهد البدنى على جلوكوز الكبد أثناء الراحة، وعند الجهد البدنى حيث تكون كمية الجلوكوز التى تخرج من الكبد تتناسب طرديا مع كمية الجهد البدنى (vo2 max) عن (مارك هارجريفز ١٩٩٥)

وتوضح التجربة التى أجريت على عينة مكونة من ٨٤ لاعبا لتحديد نسبة خروج الجلوكوز من الكبد أثناء الراحة وعند القيام بجهد بدنى حيث تم تحديد الجلوكوز الخارج بطريقتين هما:

الأولى: استخدام نظائر مشعة عن طريق استخدام جلوكوز مندمج مع مادة نشطة مشعة.

الثانية: تحديد كمية الجلوكوز عن طريق استخدام القسطرة التى توضع فى الشرايين والأوردة الكبدية.

وبالإضافة إلى الدور الحيوى للكبد الذى يقوم به لإخراج أو إفراز الجلوكوز من خلاياه، فإنه أيضا يقوم بدور حيوى آخر وهو حجز المواد العضوية المستمرة مع النيتروجين والكربون من الدم.

وعلى الرغم من أن بعض هذه المركبات تشارك فى تكوين الجلوكوز عن طريق عملية تخليق الجلوكوز إلا أن بعضها الآخر يتحول إلى نشادر أو يتحول إلى بروتينات أو قد يساهم فى عملية تخليق المواد الكتيونية، ويزداد خروج هذه المواد العضوية أثناء الجهد البدنى.

خروج الجلوكوز من الكبد أثناء التدريب البدني:

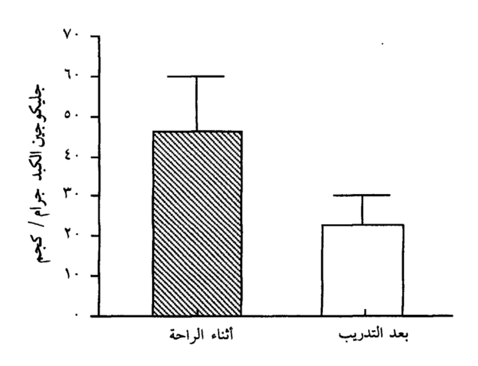
Hepatic Glucose Output During Training:

عند قيام الفرد بجهد بدني يزداد خروج الجلوكوز من الكبد نتيجة هذا الجهد حيث يزداد معدل هدم وبناء الجلوكوز (تمثيل الجلوكوز).

وعند قيام الفرد بجهد بدني ذى شدة متوسطة ٦٠٪ من (Vo2 max) ولمدة أقل من ٣٠ دقيقة تكون كمية الجلوكوز الخارج من الكبد تفى بمتطلبات عمليات التمثيل الجلوكوزى للعضلات العاملة.

وتتناسب كمية الجلوكوز المستهلكة عن طريق التدريب البدنى تناسبا طرديا مع كمية جليكوجين الكبد.

وتكون عملية تحلل الجلوكوز من الكبد أثناء الـ ٦٠ دقيقة الأولى من التدريب متوسط الشدة من ٥-١٥٪ قياسا بحالة الراحة.



شكل رقم (٤) جليكوجين الكبد قبل وبعد التدريب البدنى

يوضح الشكل السابق نتيجة التجربة التى أجريت على عينة مكونة من (١٤) لاعبا من لاعبى الدراجات، خضعوا لتدريب لمدة ساعة ثم قيست نسبة جليكوجين الكبد بعد التدريب، واتضح أنه قد حدث انخفاض دال معنويا فى نسبة الجليكوجين بعد التدريب مقارنة بنسبته قبل التدريب.

وتبين أن نسبة تحلل الجلوكوز من الكبد تتراوح من ٢٠-٢٥٪ عندما يستمر التدريب لمدة ٦٠ دقيقة، وأن نسبة التحلل تزداد بزيادة فترة التدريب.

وتوضح نتائج التجربة أن زيادة تحلل الجلوكوز من جليوكوجين الكبد تتم بمساعدة مجموعة من الأنزيمات التى يزداد نشاطها مع عمليات التدريب التى يخضع لها الفرد الرياضى، وأن هذه العملية تزداد أو تقل تبعا لشدة التدريب.

وتشير نتائج دراسات متعددة أن نسبة استهلاك وتحلل الجلوكوز يرتبط أيضا بعمليات امتصاص الجلوكوز التى تحدث نتيجة تناول مواد سكرية عن طريق الفم قبل التدريب، وتبين أن استهلاك الكبد للمواد المستخدمة فى تحلل الجلوكوز تقل مقارنة بالأفراد الذين يؤدون نفس التدريبات وهم صائمون.

وفى بعض الحالات قد تزداد عملية تخليق وتحلل الجلوكوز فى الكبد أثناء التدريبات الطويلة؛ وذلك عن طريق تحويل بعض العناصر الأخرى مثل (الجليسرول Clycerol) (والأحماض الأمينية Amino Acid) إلى جلوكوز، وبالتالى فإن الكبد يستطيع أن يقلل نسبة الفاقد من الجلايكوجين المخزون فى الكبد والعضلات، وأن عملية تحلل الجلوكوز تزداد زيادة طردية مع النشاط البدنى.

وقد أجريت بعض التجارب الحديثة فى هذا المضمار، توضح إحداها أنه تم تحلل الجلوكوز فى الكبد بطريقة صناعية عن طريق حقن مادة تسمى (حامض المركابتوفيكولنك Mercaptopicolinic) حيث أدت إلى تقليل فترة النشاط البدنى بنسبة ٣٠٪، وأن عملية التقليل هذه أدت إلى خفض كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد بنسبة ٢٠٪.

كما أن عـملية حقن مادة تسـمى (إيثانول Ethanol) للإنسان تـؤدى إلى خفض تحلل الجلوكوز من الكبد بعد حوالى ١٨٠دقيقة.

وتعكس كمـية الجليكوجين المخـزونة بالكبد ضـخامة كـمية الجلوكـوز التى يمكن إخراجها أثناء التدريب البدنى الشاق.

كما وجد أن زيادة خروج الجلوكوز من الكبد تتناسب طرديا مع كمية الجليكوجين المخزونة بالكبد أثناء التدريب البدنى.

ولدى الرياضيين المدربين جيـدا قدرة أكبر على تحلل جليكوجين الكبـد لدفع أكبر كمية من الجلوكوز فى الدورة الدموية لإتمام عمليات التدريب الرياضى.



تنظيم خروج جلوكوز الكبد بطريقة التعويض أثناء التدريب:

Feedback Regulation of Hepatic Glucose Output During Training:

عملية تعويض الجلوكوز الخارج من الكبد مهمة جدا حتى تغطى أو تقابل احتياجات العضلات العاملة أثناء التدريب البدنى، وتم التأكد من أن عملية تعويض الجلوكوز تعتمد على نسبة الجلوكوز فى الدم وبالتالى تعتمد على نسبة الجلوكوز المطلوب تصنيعه من الكبد.

وللدلالة على ذلك، فإن إعطاء الجلوكوز عن طريق الحقن فى الوريد بطريقة (التنقيط) أثناء الجهد البدنى تؤدى إلى تقليل نسبة الجلوكوز الداخلى والمطلوب خروجه من الكبد أثناء تلك التدريبات.

والحقيقة أن إعطاء الجلوكوز بالوريد بطريقة التنقيط في هذه التجارب أدى إلى تغير طفيف فى نسبة الجلوكوز الموجود فى بلازما الدم بنسبة تتراوح من ٤-٥ مليجرام٪.

ويعنى هذا أن عملية خروج الجلوكوز من الكبد وتحلل الجليكوجين لإعطاء الجلوكوز عملية معقدة وحساسة جدا بالنسبة للمحافظة على جلوكوز الدم فى حالته الطبيعية، والتى تم التدخل فيها عن طريق حقن الوريد بالجلوكوز.

واستخدمت تجربة مهمة جدا هورمون الجلوكاجون (Glucago) الذى يفرزه البنكرياس وكذلك الأنسولين (Insulin)، حيث إن الأول يساعد على زيادة إفراز الجلوكوز، والثانى يعمل على المحافظة على نسبته فى الدم، وقد أعطى الهرمونين معا، وأثبت التجربة أن خروج الجلوكوز من الكبد قد قل ووصل بعد عشر دقائق من التدريب متوسط الشدة إلى نسبة انخفاض من ٤-٥ مليمول / لتر ولمدة عشرين دقيقة.

وأجريت تجربة على الفئران بحيث تم حقن هذه الفئران بمادة تسمى (فلوروزين Phlorizin) أثناء التدريب، وقد أدى ذلك إلى زيادة الجلوكوز الخارج من الكليتين، وفسرت هذه النتيجة على أساس أن مادة الفلوروزين تزيد من كمية الجلوكوز الفاقد من

الدورة الدموية أثناء التدريب، كما صاحب ذلك زيادة مقابلة فى إخراج الجلوكوز من الكبد أثناء التدريب مقارنة ببعض الفئران الأخرى التى تم حقنها بمحلول ملح.

وتشير نتائج دراسات متعددة إلى أن الطريقة التعويضية لا تعتمد فقط على نسبة الجلوكوز فى الدم، ولكنها مرتبطة بحالة الكبد نفسه أثناء التدريبات الخفيفة.

وتشير دراسة أخرى أجريت على القطط إلى أن الأعصاب المتصلة بالعضلات المنقبضة لها أهمية فى تحديد كمية الجلوكوز الخارج من الكبد، والدليل على ذلك أن طريقة توصيل تيار كهربائى إلى عصب العضلة أدى إلى زيادة نسبة جلوكوز بلازما الدم وزيادة خروجه من الكبد.

إلا أن هذه الطريقة لم تستخدم كثيرا على الرياضيين، وتعتبر طريقة ثانوية ولا يمكن الاعتماد عليها إلا إذا كانت الطرق التعويضية الطبيعية ضعيفة.



علاقة التغذية المستمرة بتدفق جلوكوز الكبد أثناء التدريب:

Feed - Forward Regulation of Hepatic Glucose Output During Training:

مما تقدم يتضح أن نسبة جلوكوز الدم تزداد أثناء التدريبات البدنية مرتفعة الشدة، وهذا يعنى زيادة فى تحلل جليكوجين الكبد وتحوله إلى جلوكوز، بنسبة تعادل كمية الجلوكوز المطلوبة للعضلات العاملة فى التدريب البدنى.

وتفيد نتائج دراسات حديثة أجريت على الرياضيين أن تثبيط نشاط العصب الواصل لمجموعة عضلية وذلك عن طريق الحقن بمادة تسمى (تيوبوكورارين Tubocura-rine) ساعدت على خفض الجلوكوز الخارج من الكبد مقارنة ببعض الرياضيين الذين لم يتم حقنهم بهذه المادة.

وأفادت دراسة أخرى أن خروج الجلوكوز من الكبد يزداد من خلال الطريقة التعويضية، وذلك عن طريق حقن جلوكوز بطريقة التنقيط فى الوريد بسرعة مضاعفة بحيث تكون هذه الكمية ضعف سرعة الجلوكوز الخارج من الكبد.

ونتج عن ذلك زيادة فى نسبة جلوكوز الدم ونقص فى كمية الجلوكوز الخارج من الكبد بنسبة من ٣٠ - ٤٠٪.

كما أفادت بعض الدراسات بأن طريقة التغذية المستمرة بالكربوهيدرات ليست وحدها المسئولة عن زيادة نسبة الجلوكوز ولكنها مرتبطة بالتأثير على أجزاء من المخ وهى تساعد الجهاز العصبى المركزى على إصدار أوامره لمراكز عصبية بالمخ تعمل على تحفيز أو تثبيط نشاط إفراز الجلوكوز.

أجريت تجربة على الفئران أثناء قيامها بالسباحة حيث تم حقن هذه الفئران بمادة تسمى (ألفا أدرنرجك α- adrenergic) وقد نتج عن ذلك زيادة شديدة فى خروج الجلوكوز من الكبد وكذلك زيادة فى نسبة جلوكوز الدم، ويرجع ذلك إلى تأثير هذه المادة على المركز العصبى بالجهاز العصبى المركزي ويعرف باسم (VMH) حيث يوجد في النصفين الكرويين بالمخ الأيمن والأيسر.

وامتدادا لهذه التجربة أجريت تجربة أخرى، بحيث تم تخدير الجزءين معا الأيمن والأيسر من (VMH) ولوحظ زيادة كبيرة فى كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد مقارنة بالفئران الأخرى.

بالإضافة إلى ذلك وجد أن تحفيز الجزء الخلفى من هذا المركز بالمخ بواسطة تيار كهربائى فى بعض القطط التى تم تخديرها وفى نفس الوقت تم تخدير الأعصاب المتصلة بعضلاتها المنقبضة، وجدت زيادة فى كمية الجلوكوز الخارج من الكبد مشابهة للزيادة التى حدثت فى حالة وجود نشاط بدنى.

وهذه النتائج تؤكد على أن تحفيز وتنشيط هذه المراكز بالمخ يؤدى إلى زيادة خروج الجلوكوز من الكبد، إما بشكل مباشر عن طريق التنشيط العصبى أو غير مباشر عن طريق النشاط الهورمونى.

وفي بعض الأفراد الذين يعانون من شلل رباعى، تم تحفيز أرجلهم وتنشيطها عن طريق تيار كهربائى باستخدام جهاز كمبيوتر أثناء تدريبهم على ركوب الدراجة، واتضح أن استهلاك الجلوكوز فى الأطراف زاد بنسبة قدرها ٥٠٪، كما أن جلوكوز الدم انخفض بنسبة ٧, ٠ مليمول، وفى غضون التدريبات تبين أن هؤلاء الأشخاص ليس لديهم أى زيادة فى كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد مقارنة بالحالة الطبيعية.

وهذا يدل على أنه عندما يكون هناك قصور أو عجز فى الجهاز العصبى المركزى وكذلك عجز فى العضلات فهذا يعنى أنه ليست هناك تغيرات فى نسبة جلوكوز الدم. وليس هناك استهلاك للجلوكوز من قبل العضلات الطرفية مما يعنى عدم زيادة تحلل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز.

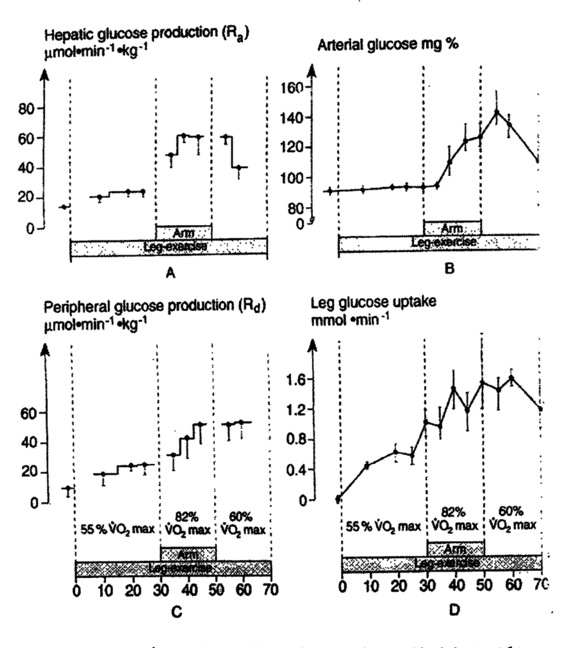
من التجارب السابقة يتضح لنا أن كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد لا تعتمد فقط على الطريقة الكيميائية التعويضية وإنما تعتمد أيضا على مراكز عصبية فى المخ وعلى الطريقة التعويضية الهورمونية.

كما يتبين أن كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد تبدو معقدة وتتم فى ظروف بالغة الدقة والحساسية والغموض، وهى أولا وأخيرا تتم بطرق لم يتم كشف كل أسرارها حتى الآن، ولكننا نلاحظ ونقيس نسبة الزيادة أو النقص، وندرس التحفيز أو التثبيط ولكن أسلوب وطريقة تحولاتها الدقيقة مازالت قيد البحث والدراسة وهى محل اهتمام العلماء والباحثين.

وعلى ذلك يمكن القول بأن كمية الجلوكوز التى تخرج من الكبد تعتمد على شدة ومدة التدريبات البدنية وعلى عدد العضلات العاملة بأجزاء الجسم المختلفة.

بالإضافة إلى أنه من الممكن أن تكون هناك بعض المواد الأخرى غير المعروفة للعلماء حتى الآن والكامنة فى أعضاء جسم الإنسان، وخاصة من أنسجة العضلات

العاملة وتتـحرك فى الدورة الدموية، وقـد تكون سببـا (ويعلم الله) فى زيادة الجلوكوز الخارج من الكبد أثناء التدريبات البدنية.



شكل رقم (٥) الجلوكوز الخارج من الكبد والجلوكوز المستهلك أثناء تدريبات الرجلين والذراعين منفردة ومجتمعة (عن كاجار وآخرين Kajar, etal ١٩٩١)

توضح الدراسة التى أجراها (كاجار وآخرون Dajar, etal ١٩٩١) على سبعة أفراد أصحاء، حيث تم قياس نسبة الجلوكوز بالدم عن طريق أخذ عينة من الشريان، وتم تحديد كمية سريان الدم فى منطقة العضلات الطرفية بطريقة معينة فى حالتى الراحة وبعد الجهد البدنى.

واستعملت الدراجة الأرجومترية لمدة ٧٠ دقيقة وذلك باستخدام الرجلين مرة، ثم باستخدام الذراعين مرة أخرى، ثم باستخدام الرجلين والذراعين معا مرة ثالثة، وتم تحديد شدة الحمل البدنى لكل من الذراعين والرجلين.

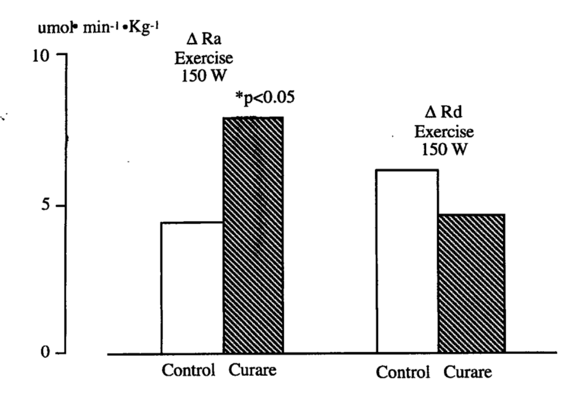
حيث بدأ العمل على الدراجة الأرجومترية بالرجلين وبشدة ٥٥٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، وبعد مرور ٣٠ دقيقة اشتركت الذراعين فى العمل العضلى وزادت الشدة إلى أن أصبحت ٨٢٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين ولمدة ٢٠ دقيقة أخرى، ثم توقف العمل بالذراعين واستمرت الرجلان فى العمل لمدة ٢٠ دقيقة أخرى وبشدة ٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، وهذا كما يوضحه الشكل (A ،B ،C ،D).

يتضح من نتائج هذه الدراسة أن استهلاك الجلوكوز وسرعة خروجه من الكبد (تحلله) إرتبطت بحجم العضلات العاملة (الرجلان فقط، أم الذراعان فقط، أم الاثنان معا).

فعندما عملت الرجلان فقط لمدة ٣٠ دقيقة بلغ حجم استهلاك الجلوكوز حوالى ٢٠ مليمول كل دقيقة لكل كيلوجرام من وزن الجسم، وبما يعادل ٩٠ ملليجرام٪.

وعندما اشتركت الذراعان مع الرجلين فى العمل البدنى من الدقيقة ٣٠حتى الدقيقة ٥٠ ارتفعت نسبة الاستهلاك وأصبحت حوالى ٤٠ مليمول كل دقيقة، وبما يعادل ١٢٠ ملليجرام٪.

ومن الدقيقة ٥٠ حتى ٧٠ توقفت الذراعان عن العمل واستمرت الرجلان فى تأدية العمل، وهذا أدى إلى انخفاض فى نسبة الجلوكوز المستهلك وأصبح حوالى ٣٠ مليمول كل دقيقة وبما يعادل حوالى ١٠٠ ملليجرام٪.



شكل رقم (٦) تأثير إعطاء مادة (كيورار Curare) على نسبة استهلاك الجلوكوز في العضلات ونسبة خروجه من الكبد عند القيام بحمل بدنى ١٥٠ وات. (عن كاجار وآخرين Kajar,etal ١٩٩١)

أجريت هذه التجربة على ثمانية أفراد، وأعطيت مادة كيورار Curare عن طريق الحقن حيث تؤثر على الأعصاب الحركية العضلية من خلال التأثير على الجهاز العصبى، وذلك للتعرف على تأثيرها فى عملية تحلل جلوكوز الكبد واستهلاكه من قبل العضلات العاملة، وتم تنفيذ هذه التجربة من خلال مجموعة تجريبية تم حقنها بمادة كيورار Curare ومجموعة أخرى ضابطة لم يتم حقنها بهذه المادة.

وخضعت مجموعتى البحث لحمل بدنى على الدراجة الأرجومترية بحمل بدنى ١٥٠ وات ولمدة خمس دقائق.

أوضحت نتائج التجربة أن المجموعة التجريبية التى تم حقنها بهذه المادة أدت إلى زيادة استهلاك الجلوكوز من قبل العضلات العاملة مقارنة بالمجموعة الضابطة التى لم تحقن بهذه المادة، وقد جاءت الفروق دالة عند مستوى معنوية ٠,٠٥ .

✲ ✲ ✲

الفصل الثاني

التمثيل الغذائى للدهون أثناء التدريب البدنى



* * *



التمثيل الغذائي للدهون أثناء التدريب البدني:

Lipid Metabolism During Training:

المقدمة:

يتم داخل كل خلية من خلايا الجسم العمليات الكميائية الحيوية اللازمة لحياتها، ولذلك لابد أن تنتقل إليها كل احتياجاتها لتغذيتها، وفي نفس الوقت يتم نقل نواتج عمليات الأكسدة بعيدا عنها.

وتحتوى بلازما الدم على المواد الدهنية Fats، والأحماض الأمينية Amino acid، والهورمونات Hormons، وغيرها من المواد الأساسية لحياة الخلية، وتنتقل هذه المواد إلى الخلايا عن طريق الدم لتغذيتها، وتنتقل نواتج الأكسدة من الخلايا عن طريق الدم أيضا إلى الرئة والكلى حيث يتم التخلص منها وهي ثاني أكسد الكربون ومركبات نتروجينية ذائبة مثل اليوريا.

وترتبط لزوجة الدم بقدر ما يحتوى من خلايا الدم ومكونات البلازما وخاصة الليبدات Plasma Lipids، وبمقارنة الدم بالماء يلاحظ أن الدم أكثر كثافة من الماء بحوالى ٣-٤ مرات بسبب ما يحتوى عليه من خلايا وبلازما.

وعند ممارسة التدريب الرياضي تقل لزوجة الدم مما يساعد على سهولة سريانه في الأوعية الدموية، بينما في حالة عدم الحركة تزداد درجة لزوجة الدم مما يعيق سهولة سريانه في الأوعية الدموية، وقد ركزت معظم الدراسات التي أجريت في هذا المجال على تأثير التدريب البدني على خلايا الدم.

وتشير نتائج دراسات متعددة إلى أن خلايا الدم الحمراء تزداد لدى الأفراد المدربين مقارنة بغير المدربين، وهذه الزيادة لها تأثيرها على مستوى الأداء البدني لارتباط الخلايا الحمراء والهيموجلوبين بعنصر التحمل لدورهما في نقل الأكسجين إلى العضلات العاملة.

ويعتبر ارتفاع مستوى دهون الدم وخاصة الكولسترول Colesterol أحد العوامل الهامة في حدوث مرض تصلب الشرايين ومرض الشريان التاجي حيث ينتج الكولسترول داخليا بواسطة معظم الخلايا بالجسم (Indogenous Production) وبخاصة في الكبد.

أما المصادر الخارجية لإنتاجه فتتمثل فيما يؤكل من الغذاء واختلاف الأفراد في قدرتهم على نقل وتمثيل الكولسترول يؤدى إلى ارتفاع مستواه في بلازما الدم، والذي يؤدى بدوره إلى ترسيب الدهون في الغشاء المبطن للشرايين.

ويشير (دافيد David ١٩٧٩) وغيره إلى أنه توجد أدلة تؤيد أن التدريب البدنى المنتظم يساعد على خفض نسبة الكولسترول، وأن كثيرا من الأبحاث التجريبية أوضحت أن التدريب البدنى يقلل من الجلسريدات الثلاثية فى الدم، وأشارت نتائج كثير من الدراسات إلى انخفاض كولسترول الدم، وعلى الفرد أن يحافظ على مستوى الكولسترول حتى ١٦٥ ملليجرام٪ بالنسبة للبالغين.

الدهون: Fats

تستخدم مصادر الطاقة الحيوية لجسم الإنسان من المواد الدهنية؛ وذلك لإمداد العضلات الإرادية باحتياجاتها من الطاقة خلال التدريبات البدنية التى تستمر لفترة طويلة.

وتعتمد العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوى للطاقة وعمليات أكسدة مواد هذه الطاقة على العديد من العناصر أو العوامل التى من بينها شدة التدريب البدنى، واستمراريته، والمرحلة السنية، ودرجة حرارة الطقس، والجنس، والحالة التدريبية وغيرها من العوامل التى تؤثر بشكل أو بآخر على عمليات تمثيل المواد الدهنية بجسم الإنسان.

وتشتمل عمليات أكسدة المواد الدهنية على دورة التراى جلسريد T G (Triglycerols) ، وكذلك دورة الأحماض الدهنية الحرة FFA Free Fatty Acid)، والتى يعتمد عليها الجهاز الحركى (العضلات، العظام، المفاصل) فى القيام بمختلف المتطلبات الحركية أثناء التدريب البدنى أو المنافسات الرياضية.

وسوف نستعرض فى هذا الجزء الدور الحيوى الذى تقوم به المواد الدهنية فى إمداد جسم الإنسان باحتياجاته من الطاقة أثناء الراحة وعند القيام بجهد بدنى.

تمثيل الأحماض الدهنية ببلازما الدم:

Plasma Free Fatty Acid Metabolism:

تتكون الأحماض الدهنية الحرة (FFA) من تحلل الدهون نتيجة عمليات الهضم التى تتم في القناة الهضمية، وذلك بغرض إنتاج طاقة كبيرة تتأكسد أثناء التمرينات البدنية التى تتميز بالشدة المتوسطة لفترة زمنية طويلة، وتستلزم عملية التمثيل الحيوى الخاص بالأحماض الدهنية الحرة (FFA) خطوات متعددة؛ نظرا لأنها عملية معقدة ومركبة بدءا من انتقالها عبر السيتوبلازم حتى الأيض داخل الخلية.

ويعتبر النسيج الدهنى أكبر مخزون كمى للدهون فى الثدييات، وفى الإنسان

يشكل هذا النسـيج حوالى من ١٠-٢٥٪ من وزن الجسم، ويوجد بشـكل شبه كـامل تحت الجلد وحول الجـذع والبطن والأرداف وأجزاء صغـيرة منه توجد حول العـضلات الإرادية.

ونسبة تجمع الأحماض الدهنية فى النسـيج الدهنى لا تعتمد فقط على معدل تحلل الدهون ولكن على نشاط الأحماض الدهنية الحرة FFA فى البلازما، وعلى معدل إعادة الأسترة لهذه الأحماض بواسطة الخلية الدهنية.

تحلل النسيج الدهنى: Adipose Tissue Lipolysis

للتعـرف على معـدل أكسدة الأحـماض الدهنيـة يمكن قياس انتـشار الجليـسرول (Glycerol) فى الدم، حـيث يظهر الجليـسرول كناتج لعـملية احـتراق الدهـون، وفور عملية انتشاره فى الدم لا يمكن إعادة تركيبه مرة ثانية.

ذلك لأن النسيج العضلى لا يـحتوى على الكثير منه ولكن يمكن قـياسه بواسطة بعض الاختبارات المعملية الخاصة التى تقيس نسبته خارج حدود الخلايا والتى من خلالها يمكن التعرف على معدل تركيزه.

تأثير التدريب عالى الشدة على تحلل الدهون:

Effects of Acute Training on Adipose Lipid:

أثبتت نتائج عـديد من الأبحاث (شاو Shaw ١٩٧٥)، (وارنبرج Wahrenberg ١٩٩١)، (وولـف Wolf ١٩٨٧)، أن مـعدل تحلل الدهون أو احـتراقـها فى النسـيج العضلى يتحسن مع استمرار التدريب البدنى، وعلى سبيل المثال فإن خلايا دهن الأرداف يتأثر بعد حوالى ٣٠ دقيقة من تدريبات العجلة الأرجومترية.

كما أن معدل تركيز الحمض الدهنى جليسرول (Glycerol) بالدم يزداد بنسبة من ٣٥-٥٠٪ بعد التدريب المستمر لمدة من ٣-٤ سـاعات، كما أن التدريب الشاق يزيد من الأحماض الدهنية الحرة FFA ثلاثة أضعاف بـعد التدريب لمدة ٤٠ دقيقـة على العجلة الأرجومترية بشدة قدرها ٦٥٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (Vo2 max).

وتشيـر نتائج هذه الدراسات أيـضا إلى أن معـدل زيادة الأحماض الدهنيـة الحرة FFA، الجليسرول Glycerol تبلغ ستة أضعاف، وذلك بعد تدريب على البساط المتحرك (Treadmill) بشدة من ٧٥ - ٨٠٪ من الـ Vo2 max.

التنظيم الهورمونى للتحلل الدهنى:

Hormonal Regulation of Lipolysis:

تؤثر الإفرازات الهورمـونية فى جسم الإنسان مثـل هورمون (كاتيكولامين Cate-cholamine) ، هورمون (جلوكاجون Glucagon)، (هورمون النمو Growth horo-mon)، (أدرينو كورتيكوتروبك Adrenocorticotropic) ، (هورمونات الغـدة الكظرية Various Pituitary)، (هورمونات الغدة النخـامية Intestinal) على زيادة مـعدل تحلل الدهون فى خلايا جسم الإنسان، إلا أن هورمون كـاتيكولامين، هورمون الغدة الدرقية يحتل الصدارة من بين الغدد الأخرى فى زيادة عملية التحلل الدهنى.

وتظهر أهمية كاتيكولامين على أنه أنشط هذه الهورمونـات لتأثيره على مستقبلات ألفا وبيتا (α' B,) الأدرينالية (adrenergic) من خلال التغيرات المتـتالية التى تعمل على أدينوزين مونوفوسفات (Adenosin 5 Monophosphat) والتى تعرف بـ (AMP) حيث يتم إنتاجـها داخل الخلايا والفـعل المصاحب لذلك مع هورمـون الأنسولين الذى يعتـبر مثبط للتحلل الدهنى.

وتتلخص التغـيرات الهورمـونية الأساسـية والتى تزيد من التـحلل الدهنى خلال النشاط البدنى فى أنهـا عبارة عن زيادة فى نشاط مسـتقبلات بيتـا الأدرينالية وهبوط فى معدل إفراز الأنسولين.

والهورمـونات المثبطة لمـستقـبلات ألفـا الأدرينالية تغـير من التـحلل الدهنى أثناء الراحة، وعلى الجانب الآخر فإن العمليـات المنشطة لمستقبلات بيتا B_1 الأدرينالية تكون هى الظاهرة خلال النشاط التدريبى.

وعلى ذلك فإن إضافـة مثبطات ألفا الأدرينالـية إلى النسيج الدهنى تحت الجلدى يضاعف من زيادة الجليسرول.

وعلى جانب آخـر فإن إضـافة (بروبرانولول Propranolol) إلى النسـيج الدهنى يساعد على زيادة إفراز الجليسرول بنسبة ٦٥٪.

النظام الهورمونى لليباز:

The Hormone Lipase System:

يقوم الهورمون المعرف علميا باسم (سنستف تراى سيلجلسرول Sensitive Tria-cylglycerol) بالتحكم فى معدل التحلل الدهنى حيث يقوم بعملية هدرجة للروابط الدهنية المعروفة علميا باسم (Ester bonds).

والخاصة بهورمون سنستف تراى سيلجلسرول حيث يتم تحولها إلى أحماض دهنية حرة (FFA)

ويعد إنزيم الليباز(Lipase) المسئول الفعلى عن كل عمليات الهدرجة الخاصة بالمواد الدهنية بالتعاون مع الهورمون، وتتم هذه العمليات المعقدة بواسطة (HSL).

واتفق على تقسيم الروابط الدهنية لخلايا النسيج الدهنى إلى قسمين رئيسيين: روابط منتظمة وأخرى غير منتظمة، وقد كشفت الدراسات على أن الزيادة فى عمليات الفسفرة (Phosphorylation Stat) لمركبات HSL تتم بواسطة (AMP) وذلك من خلال السيتوسول (Sytosol).

تأثير تركيز الجلوكوز: Effects of Glucose Concentration

على الرغم من أن العوامل المؤثرة فى تحلل النسيج الدهنى هى الهورمونات، إلا أن تركيز الجلوكوز فى الدم من العوامل المؤثرة فى تحلل الدهون وفي نشاط الهورمونات فى بلازما الدم.

ويعد الأنسولين أحد الهورمونات الهامة التى تعمل على المحافظة على أن تكون نسبة الجلوكوز فى الدم ثابتة حيث يزداد نشاطه أو يقل تبعا لدرجة تركيز الجلوكوز فى الدم.

كفاءة نقل الأحماض الدهنية الحرة: Plasma FFA Transport Capacity

من بين العوامل المنظمة والمتحكمة فى عمليات التحلل الدهنى، تلك العوامل العصبية الهورمونية حيث تساعد على نقل الأحماض الدهنية الحرة FFA إلى الخلايا استعدادا لإتمام علميات الأكسدة.

ويمكن زيادة معدل نشاط الأحماض الدهنية الحرة FFA فى بلازما الدم إلى عشرين ضعف أثناء التدريب البدنى متوسط الشدة ولفترة زمنية طويلة، حيث يرتبط نشاط الدهون الحرة ببروتين الألبومين (Albumin) كما أن زيادة نشاط الألبومين يتبعه زيادة تركيز الدهون الحرة، وهذا يؤدى إلى زيادة أكسدة الدهون حيث يزداد تدفقها فى العضلات من خلال الدم.

نقل الأحماض الدهنية الحرة فى بلازما الدم:

FFA Transport in Blood Plasma:

بلازما الدم تشتمل على الألبومين (Albumin) وهو عبارة عن بروتين - ويتصل الألبومين بالأحماض الدهنية الحرة FFA من خلال مجموعة روابط كيميائية يصل عددها إلى عشرة روابط تختص الأحماض الدهنية الحرة بثلاث روابط منها.

وعندما تتركز الأحماض الدهنية الحرة ببلازما الدم فإن جزءا من هذه البلازما يحتوى على الألبومين، ولا يرتبط تركيز كل منهما بالآخر لأن العامل المهم فى ذلك هو الروابط التى تجمع بينهما.

نفاذ الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية:

FFA Permeation Accross Plasma Membranes:

بعد أن تنفصل الأحماض الدهنية الحرة FFA عن بروتين الألبومين Albumin، تعبر الأحماض الدهنية الحرة الأغشية البلازمية لخلايا العضلات لكى تختزن أيضا على صورة ٣ جزيئات جليسرول (glycerols)، استعدادا للأكسدة مع ثلاثى أدينوزين الفوسفات ATP ، وذلك طبقا للنظرية التقليدية «نظرية التحول» للنفاذ إلى الخلايا البروتينية.

ويعتبر بروتين الألبومين هو الوحيد الذى يشارك فى خاصية عبور الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية حيث يعتبر اختراقا إيجابيا وهو يوضح نسبة العلاقة بين مجموع الأحماض الدهنية فى مجموعة البلازما المستخدمة أثناء الراحة أو عند التدريب البدنى.

كما أنه للنظرية البسيطة لعبور الأحماض الدهنية خلال أغشية الخلايا اعتبارات هيكلية ووظائفية، وقد تبين أن الخلاف الوحيد هو أن نسبة الأحماض الدهنية الحرة غير المرتبطة بالغشاء الثنائي «فوسفودهنى Phospholipid» للأغشية البلازمية، وتلك المجموعات القطبية التى تواجه الفراغ الخارجى والداخلى للخلية التى ربما تخفى اختراق الأحماض الدهنية وعلى الأكثر عند الرقم الهيدروجينى الوظيفى للخلية (PH, FFA)، تبقى الأحماض الدهنية فى البلازما فى صورة إينونات (Anios)، وهى تحمل شحنة سالبة.

تلك الاعتبارات النظرية تزيد احتمالية أن الفعل الميكانيكى أكثر فاعلية من الانتشار البسيط للأحماض الدهنية.

وخلال القرن الماضى دخلت الحقائق الاختبارية لكى تتوقع أن اختراق الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية تكون فى حاجة لحامل لها، معتمدة على نسبة تركيز الأحماض الدهنية الحرة غير المتحدة، كما وضحت بالنظرية التقليدية «نظرية التحول» التبادل الخلوى فى خلايا الكبد وخلايا النسيج الدهنى وخلايا القلب لتؤكد على التالى:

*** إن أخذ الخلايا للشريط الطويل للأحماض الدهنية الحرة ليس محددا بانفصال الأحماض الدهنية من الألبومين، وتحدد التشبع الفعلى عندما تتحد ضد تركيز الأحماض الدهنية الحرة.**

*** الشرائط الطويلة للأحماض الدهنية الحرة ترتبط بتشبع الأغشية البلازمية.**

*** ذلك الارتباط ينسب إلى أغشية بلازمية خاصة ترتبط بالأحماض الدهنية والبروتين.**

*** الأحماض الدهنية المرتبطة ببروتين الأغشية البلازمية لها وزن جزيئى بين ٤٠-٤٣ ك.د.أ، وهى تملك ارتباطا عاليا للشرائط الطويلة للأحماض الدهنية الحرة، وهى هيكليا ومناعيا تتراوح من ١٢ - ١٤ ك.د.ا.**

الأحماض الدهنية المرتبطة ببروتين الأغشية البلازمية تمنع الأحماض الدهنية الحرة أن ترتبط بالخلايا البلازمية، وتستمر الأحماض الدهنية مرتبطة بالبروتين، وقد تعمل

كناقل للأحـماض الدهنية، وتأكـيدا لذلك يتـضح أن احتراق الأحـماض الدهنيـة الحرة داخل العضلات تقوم على الناقل الإلكترونى.

فى الإنسـان غيـر المدرب، عندما يقـوم بثنى وفـرد الركبـة لمدة ساعـتين، تدخل الأحـماض الـدهنية الحـرة إلى داخل العـضـلات العـاملة وتزداد بهـا عن طريق النقل الإلكترونى.

هورمونى الإدرينالين والأنسـولين ينظمان استـخدام الأحماض الدهنيـة الحرة فى النسـيج الدهنى عن طريق نظام نقل الخـلايا للأحمـاض الدهنية، بالإضـافة إلى نـشاط (HCL)، ويقوم هورمون الإدرينالـين بزيادة نشاط عمليات النقل لتـتضاعف من ٥-١٠ مرات، والإثارة تتم عن طريـق تفاعل المستـقبل B وتراكم أحادى أدنيوزين الفـوسفات (AM.P).

وزيادة على ذلك فإن النسبـة الفسيولوجية للأنسـولين تظهر لكى تقلل الإدرينالين المنبه للغشـاء الذى ينقل الشرائط الطويلة من الأحماض الدهنيـة الحرة المرتبطة بالبروتين البلازمى فى الخلايا الدهنيـة عن طريق تقليل مؤشر أحادى أدينوزين الفـوسفات AMP وعن طريق تنشيط إنزيم (الفوسفود ستريز Phosphodiesteras).

نقل الأحماض الدهنية الحرة عبر السيتوبلازم:

Cytoplasmic Transport of FFA:

نقل المواد الدهنية الموجودة فى سيتوسول الخلية (Cytosol Cells) الخلوى خلال بيئة مائية يتم عن طريق وجود مجمـوعة كبيرة من البروتينات الناقلة، ويوجد على الأقل نوعين من البروتينات المختلفة مسئولة عن نقل الأحماض الدهنية الحرة داخل الخلية.

تلك البروتينات الناقلة للأحماض الدهنية لهـا تراكيب مميزة يتراوح الوزن الجزيئى لها ما بين ١٢-١٤ ك.د.أ، وتوجـد تلك البروتينات الناقلة فى خلايا الكبـد والأنسجة الدهنية والقلب والأمعـاء، كما أن البروتينات الناقلة لها قدرة علـى الارتباط بالأحماض والإنزيمات (Fatty acyl - COA)، وكذلك بمادة تسـمى (كارنتين L- Carnitine) بنفس القدرة والكفاءة التى ترتبط بها الأحماض الدهنية الحرة فى العضلات المخططة.

واتضح أن مستويات البروتينات الناقلة يختلف تبعا لنوع الألياف العضلية، ووجود نوعيات مختلفة ومميزة من البروتينات الناقلة، ووجود نوعين مختلفين داخل كل خلية مضافا إليها مجموعات الفوسفات يساعد الألبومين الموجود بالدم.

ورغم ذلك فإن الوظائف الفسيولوجية للبروتينات الناقلة مازالت غير محددة بالدقة المطلوبة، إلا أنها مسئولة عن نقل الأحماض الدهنية عبر السيتوبلازم وحماية الإنزيمات والتراكيب الخلوية من التأثيرات الضارة للأحماض الدهنية.

البناء والهدم داخل الخلية:

Intracellular Metabolism:

داخل الخلية العضلية تتجه الأحماض الدهنية الحرة إلى الميتوكندريا (Mitochondria) حيث تتم عمليات الأكسدة، وحتى فى الحالات التى تزداد فيها معدلات الهدم تكون نسبة الأحماض فى البلازما محدودة والتى تتجه للخلايا لإتمام عمليات الأكسدة.

وأكسدة الأحماض الدهنية فى الخلايا العضلية لا تصل مطلقا لنسبة ١٠٠٪ وهذا يوضح أن هناك نسبة من الأحماض الدهنية فى البلازما لها عمليات أيض أخرى غير تلك التى تحدث داخل الخلايا العضلية.

وتعتمد أكسدة الأحماض الدهنية فى الخلايا العضلية على شدة التدريبات البدنية والمدة الزمنية لتلك التدريبات.

وعندما يتجمع حامض اللاكتيك أسد (Lactic Acid) يتبعه نقص فى استخدام الأحماض الدهنية فى عمليات الأكسدة مقرونة بنقص الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين مما يؤدى إلى زيادة استخدام الدهون حتى تبلغ شدة التدريبات الرياضية قيمة مساوية لـ ٧٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين Vo2 max.

ومع زيادة استمرارية عمليات التدريب البدنى يزداد اشتراك الأحماض الدهنية فى عمليات الأكسدة على الرغم من وجود بعض العوامل التى قد تؤثر عليها مثل نسبتها فى الجسم.

ولم يثبت حتى الآن وجود سيطرة مباشـرة للهورمونات على استهلاك الأحماض الدهنية، ويعتمد مـعدل استهلاك تلك الأحماض الدهنية على التـدريبات البدنية، وثبت أن نسبة استهلاك الأحماض الدهنية فى التـمارين الرياضية البسيطة أو المتوسطة أقل منها فى التمرينات البدنية الشديدة.

تزداد عمليات استهلاك الأحماض الدهنية فى بداية عمليات التدريب البدنى حيث تحدث زيادة فى نسـبة الأحمـاض الدهنية المتـجهة إلى العـضلات العاملة، إلا أن نسـبة استهلاكها لا تكون مساوية لنسبة تواجدها فى تلك العضلات.

ومع استمرار التـدريب البدنى يزداد معدل تحرك الأحمـاض الدهنية من الأنسجة الدهنية إلى الدم حـتى يتساوى مع معدل اسـتهلاك الأحماض الدهنيـة بل وقد يزيد عنه فتزداد نسبة الأحماض الدهنية فى الدم.

وكلما ازدادت شدة التـدريب البدنى ازداد مستوى الأحماض الدهنـية فى البلازما مادام لم يحدث تجـمع فى حامض اللاكتيك، وهكذا مع زيادة فترة التـدريب تزداد نسبة الأحماض الدهنية فى البلازما لتستمر عمليات أكسدتها.

وعلى الرغم من أن القدرة على أكسدة الأحماض الدهنية عند نسبة معينة فى الدم تعتمد على نشـاط إنزيم يسمى (ب أوكسيد B-oxidative) وإنزيمات دورة كربز Krebs) (Cycle enzymes إلا أن القدرة المؤكسـدة للعضلات المخططة لاتعتمد تمامـا على معدل استخدام الأحماض الدهنية أثناء التدريب.

وعلى سبيل المثـال: فى لاعبى الجرى ذوى المعدلات المتساوية لأكـسدة الأحماض الدهنيـة في غضـون الساعة الأولى مـن الجرى، وجد أن هناك فـارقا فى نشـاط بعض الإنزيمات بالعضلات المخططة مثل إنزيم (كـارنيتن باليموتول ترانزفر -Carnitaine Palmi toy ltrans) ويرمز له بالرمز (CPT-1)، وهذا يؤثر على قدرة هذه العضلات فى أكسدة الأحماض الدهنية.

وإنزيم (CPT-1)، موجود علـى السطح الخارجى للجدار الداخلى للميـتوكندريا (Mitochondrial)، وقد ثبت أن هذا الإنزيم يلعب دورا هاما فى تنظيم عـملية الأكسدة للأحماض الدهنية فى الكبد.

الكولسترول: Colesterol

الكولسترول هو أحد دهون الدم، وبشكل عام فهو مادة عضوية من أصل طبيعى تذوب فى مذيبات خاصة تسمى مذيبات الدهون مثل الإثير والكحول ولاتذوب فى الماء وهى تتكون من سلسلة طويلة من الهيدروكربون.

وعندما ينتقل الكولسترول متحدا مع جزء بروتينى يسمى ليبوبروتين Lipoprotein، ويكون إما على صورة ليبوبروتين عالى الكثافة ويرمز له بالرمز (HDL -L)، أو يكون منخفض الكثافة ويرمز له بالرمز (LDL-L) والفارق بين الاثنين هو أن HDL يبقى معلقا فى سائل البلازما أثناء رحلته داخل الجهاز الدورى، وعند عودته إلى الكبد يتم تمثيله وبالتالى عملية إخراجه، على العكس من ذلك فإن LDL ذو جزيئات بروتينية أكبر ويميل نحو الترسيب داخل جدار الأوعية الدموية، والمعتقد أنه مادامت نسبة HDL أكثر من ٦٠٪ فإنه لا يحدث ترسيب ذا قيمة للدهون.

ويرجع كثير من العلماء أسباب ارتفاع الكولسترول إلى النواحى الوراثية والسمنة الزائدة وقلة ممارسة النشاط البدنى وبعض الأمراض الأخرى.

والنسبة الطبيعية لكولسترول الدم الكلى تتراوح من ٦٠-٢٠٠ ملليجرام٪ ونسبة LDL تتراوح من ٦٠-١٦٠ ملليجرام٪، ونسبة تراى جلسريد تتراوح من ٥٠-١٨٠ ملليجرام٪.

تأثير التدريب البدنى على الكولسترول:

Effect of Fraining on The Colesterol:

تشير معظم الأبحاث الميدانية الحديثة التى أجريت فى هذا المضمار أنه توجد علاقة إيجابية بين مستويات التدريب البدنى وخفض نسبة الليبوبروتين عالى ومنخفض الكثافة، حيث تشير (مارى وآخرون Mary, etul ٩٨٥) إلى أنه كلما زادت التدريبات أدى إلى نقص معدل الدهون بالدم - بينما لم يحدث تغير فى نسبة كولسترول عالى الكثافة HDL، كما أشارت النتائج إلى وجود علاقة بين LDL، وأمراض شرايين القلب.

ويشير (رويل Rowell ١٩٩٦) إلى أن التدريب البدنى المنتظم يكون ذا قيمة كبيرة فى تحسن النسبة الخاصة بكل من الليبوبروتين عالى ومنخفض الكثافة، وهو بذلك يعتبر عاملا مساعدا فى تقليل الإصابة بأمراض القلب.

وأجرى (جـولنك Gollnick ١٩٨٨) دراسة عن تأثـير تناول كمـيات عـالية من الكربوهيدرات وأخـرى منخفضة من الدهون على نسـبة الكولسترول لدى كـبار السن، وأظهرت النتائج انخفاض دال معنويا فى مستوى الكولسترول حيث بلغ ٢١٠ ملليجرام٪ فى القيـاس القبلى ثم انخـفض إلى ١٧٥ ملليجرام٪ فـى القياس البـعدى، كمـا حدث انخفاض دال مـعنويا فى تراى جلسريد حيث بلغت ١٥٥ ملليجرام٪ فى القـياس القبلى ثم انخفضت إلى ١٣٨ ملليجرام٪ فى القياس البعدى.

ويشير (مارك هارجريفز Mark ١٩٩٥) إلى أهمية الـعلاقة بين التمرينـات البدنية ونسبة الليبـوبروتين وهورمونات الذكورة، حيث إن التدريب البدنى يحـسن من مستوى HDL لدى البنين، وليس البنات؛ وذلـك بسبب وجـود هورمونات الذكـورة لدى البنين حيث تبين أن هورمون (تستـو سترون واستروجين Estrogen و Testosteron) يؤثران إيجابيا فى تحس LDL وذلك بعد التدريب البدنى لمدة عشرة أسابيع.

وتشير نتائـج دراسات كل من (دافيد David ١٩٧٩)، (مارى Mary ١٩٨٥)، (كاجار Kajar ١٩٩١)، (مـــارك Mark ١٩٩٥)، إلى أن جـرى المسـافــات الطويلة والتدريبـات البدنية الهوائيـة تؤدى إلى تحسن في نسب دهون الدم وخاصة الليـبوبروين عالى ومـخفض الكثـافة، وبالتـالى يتحســن وزن الجسم وتقل درجة السـمنة وكل ذلك يؤدى إلى تحسن الصحة بشكل عام.

وتؤكد نتائج تلك الدراسات أيضا أن هنـاك علاقة بين السمنة ومرض نقص توريد الدم لعضلة القلب وتوجد عوامل متعددة تساعد على ذلك منها على سبيل المثال:

- زيادة حمل شغل القلب وزيادة ضغط الدم الناجمين عن زيادة وزن الجسم.
- زيادة تصلب الشرايين الناجـمة عن زيادة تعاطى السعرات الحـرارية وزيادة نسبة الدهون فى الدم، وارتفـاع ضغط الدم، وقلة تمثـيل الجلوكوز المصـاحب لوزن الجسم.
- قلة النشاط البدنى المصاحب للسمنة، ويرون جميعا أن التدريب يقلل من وزن الجسم بزيادة استهلاك الطاقة.

وأجـرى مؤلف هذا الـكتاب دراسـة عن تأثيـر التـدريب البدنى مـرتفع الشــدة ومنخفـض الشدة على وزن الجسم ونـسبة الدهن وكـولستـرول الدم وليبوبـروتين عالى ومنخفض الكثافة، وقد أجريت الدراسة على عـينة مكونة من ١٨ فردا خضعوا لبرنامج تدريب مرتفع الشدة وآخر منخفض الشدة، واستغرقت تجربة البحث ١٢ أسبوعا.

أوضحت نتائج الدراسة أنه قد حدث انخفاض غير دال فى وزن الجسم لدى مجموعتى البحث، وحدث انخفاض دال معنويا فى نسبة دهن الجسم بين مجموعة البحث لصالح البرنامج مرتفع الشدة، وأشارت النتائج إلى انخفاض دال معنويا فى كولسترول الدم CHOL بين مجموعتى البحث نتيجة برنامج التدريب مرتفع ومنخفض الشدة وذلك كما يوضحه الجدول التالى.

جدول (٢) تأثير التدريب على بعض المتغيرات فى الجسم

المتغير	مجموعة ١ تدريب مرتفع الشدة		مجموعة ٢ تدريب منخفض الشدة		الفرق بينهما	قيمة ت
	س	ع	س	ع		
وزن الجسم/ كجم	٦٩,٩٠	٣,٥٠	٧١,٢٠	٢,٨٠	١,٣٠	٢,١٦
نسبة دهن الجسم ٪	١٥,٩٠	٠,٩٠	١٧,٢٠	١,٤٠	١,٣٠	٣,٦١*
كولسترول CHol مليجرام٪	١٧٨,٧٠	١١,٥٠	١٨٠,٥٠	٨,٦٠	١,٨٠	١,٦٦
تراى جلسريد TG مليجرام٪	٧١,١٠	١٢,٦٠	٨٥,٩٠	١٩,٣٠	١٤,٨٠	١٠,٨٨*
HDL-C مليجرام٪	٤٤,٠٠	٣,٦٠	٤٧,٨٠	٣,٢٠	٣,٨٠	٦,٠٣*
HDL-C مليجرام٪	١٢٠,٤٠	١٠,٩٠	١١٥,٧٠	٦,٧٠	٤,٧٠	٤,٦٥*

(عن بهاء سلامة ١٩٩٠)

* دال عند ٠,٠١

كما أوضحت النتائج أنه قد حدث انخفاض دال معنويا فى تراى جلسريد بين مجموعتى البحث بعد الأسبوع الثانى عشر ولصالح المجموعة التى خضعت لبرنامج تدريب مرتفع الشدة، كما حدثت زيادة دالة معنويا فى HDL بين مجموعتى البحث نتيجة برنامج التدريب مرتفع الشدة ومنخفض الشدة ولصالح برنامج التدريب منخفض الشدة، وأشارت النتائج أيضا إلى وجود فروق ذات دلالة معنوية بين مجموعتى البحث في متغير LDL ولصالح برنامج التدريب منخفض الشدة.

* * *

الفصل الثالث

التمثيل الغذائى للبروتينات



- المقدمة
- تخليق البروتين
- هدم البروتين
- هدم البروتين فى النشاط البدنى
- فوائد البروتين
- التقسيم الكيميائى للبروتين
  - البروتينات البسيطة
  - البروتينات المركبة
- الأحماض الأمينية
- تمثيل الأحماض الأمينية
- مجموعة الأمينو
- تحولات بعض الأحماض الأمينية فى العمليات الحيوية
  - كرياتين وكرياتينين
  - أرجنين – سيستين
  - تربتوفان
- الأحاض النووية
- تركيب الأحماض النووية
- تركيب النيوكليوتيد والنيوكلوزيد

البروتينات: Proteins

المقدمة:

تعتبر البروتينات من أهم مكونات المادة الحية، حيث ترتبط عمليات النمو فى الإنسان ارتباطا وثيقا بالبروتينات بجانب العديد من المواد الأخرى عضوية وغير العضوية.

ويتكون جزىء البروتين من العديد من الأحماض الأمينية Amino acid مرتبطة مع بعضها بروابط ببتيدية Peptid، وبعض الروابط الأخرى مثل الروابط الأيدروجينية وغيرها، وجميعها يساهم فى بناء جزىء البروتين حتى يأخذ حجمه وشكله النهائى تبعا للوظيفة التى يؤديها.

وتشير نتائج التحليل المائى للبروتين أنه يتكون من حوالى ٢٢ حامض أمينى منها عشرة أحماض أمينية أساسية Essential amino acid والباقى عبارة عن أحماض أمينية غير أساسية.

وجميع البروتينات فى الخلايا الحية تكون دائما فى حال ديناميكية Dynamic State من التغيير والتجديد المستمر، وهذا يعنى أن عمليات بناء وهدم البروتينات (Anabolism and Catabolism) فى الخلايا الحية مستمرة وهى ما تعرف بعملية الأيض أو التمثيل (Metabolism).

تخليق البروتين: Protein Synthsis

تتخلق البروتينات من الأحماض الأمينية السابق ذكرها، والتى يكون مصدرها الغذاء أو التى تنتج أثناء العمليات الحيوية الخاصة بهدم البروتينات.

ويعتبر البروتين الحيوانى «كاملا» وذلك لا حتوائه على كل الأحماض الأمينية الأساسية، بينما يعتبر البروتين النباتى «غير كامل» حيث إنه لا يحتوى على كل الأحماض الأمينية الأساسية.

ويعتبر البروتين الحيوانى «كاملا» وذلك لاحتوائه على كل الأحماض الأمينية الأساسية، بينما يعتبر البروتين النباتى «غير كامل» حيث إنه لا يحتوى على كل الأحماض الأمينية الأساسية.

ويمكن تقييم نوع البروتين عن طريق القيمة الحيوية به، وهى عبارة عن البروتين المحتجز والبروتين الممتص.

وتتميز الأنواع المختلفة للبروتينات بتتابع الأحماض الأمينية الببتيدية بكل منها من خلال السلاسل الببتيدية تبعا لنوع البروتين.

وتتم عمليات تخليق البروتين بواسطة تفاعلات كثيرة فى التحليل المائى وهو تفاعل طاقة داخلى endergonic للروابط الببتيدية، ويحتاج أيضا إلى إمداد خارجى من الطاقة، وتتوفر هذه الطاقة لتكوين رابطة ببتيدية بازدواج التفاعل البنائى مع تفاعل طاقة خارجى قوى، وتعرف هذه العملية بالتنشيط Activation.

وعادة يتحد الحمض الأمينى المنشط، مع الحمض النووى ريبونيو كليك RNA فى السيتوبلازم، ويوجد لكل حمض أمينى الحمض النووى الخاص به، ويلامس هذا التفاعل الإنزيم الخاص به أيضا.

ويتم اتحاد الحمض الأمينى المنشط عن طريق مجموعة الكربوكسيل مع مجموعة الهيدروكسيل الموجودة على ذرة الكربون رقم ٣ فى الريبوز الموجود فى آخر سلسلة الحمض النووى.

ويتعرف كل حمض أمينى على الحمض النووى الخاص به بواسطة الإنزيم النوعى (من مجموعة إنزيمات التخليق) المرتبط فى خطوة التنشيط.

هدم البروتين: Protein Catabolism

تسير عملية تكسير «Breakdown» وهدم البروتينات بصورة متوازنة مع عملية التخليق والبناء، وذلك بفعل إنزيمات التحلل المائى والتى تشتمل على مجموعة من الإنزيمات هى المسئولة عن عملية الهدم.

وتعمل إنزيمات التحلل المائى على تكسير الروابط الببتيدية فى جزيئات البروتين وتتحل إلى مركبات أقل فى الوزن الجزيئى تدريجيا مثل البروتوزات «Protoses» والببتونات «Petoneses» وتنتهى عملية التحلل المائى إلى تكوين الأحماض الأمينية.

تنتقل الأحماض الأمينية إلى أماكن تخليق البروتين وتدخل فى تخليق جزيئات جديدة من البروتينات، وقد تتعرض الأحماض الأمينية لنزع مجاميع الأمينو، وتنفرد الأمونيا والأحماض العضوية، وذلك بالدخول فى تفاعلات وعمليات حيوية حسب الحالة الفسيولوچية واحتياجات الخلية.

وإذا كانت عملية بناء وتخليق البروتين تحتاج إلى طاقة لإتمامها فإن عملية الهدم تنفرد منها كمية من الطاقة.

ولوحظ أنه فى بعض إنزيمات التحلل المائى تتأثر الروابط الببتيدية فى داخل السلسلة الببتيدية الطويلة التى يتكون منها البروتين ويطلق عليها اسم «إنتوببتيدات Endopeptidases» ومنها على سبيل المثال إنزيم «الببسين Pepsine» فى المعدة وكذلك «التريبسين Trypsin» فى البنكرياس.

ويجب الإشارة إلى أن كلا من عمليتى الهدم والبناء تحدث بصفة مستمرة فى الخلايا، مما يؤدى إلى تجديد وتغيير البروتين باستمرار «Protein Turnover»ويختلف معدل وسرعة ذلك باختلاف البروتينات والأنسجة.

هدم البروتين فى النشاط البدنى:

وإذا كان هناك توازن بين الهدم والبناء فى الإنسان البالغ النمو فإن معدل سرعة البناء تفوق عادة معدل سرعة الهدم لبروتينات الأطفال وغير البالغين.

وفى النشاط الرياضى تزداد عمليات هدم البروتينات، مثلها فى ذلك مثل الحالات المرضية أو حالات الجوع الشديد.

وتدل نتائج دراسات عديدة فى هذا المجال أن النشاط البدنى يساعد على زيادة إيقاع عمليات التخليق والبناء والهدم حيث تكون البروتينات دائما فى حالة حركة ديناميكية.

وتختلط الأحماض الأمينية الناتجة من تكسير بروتينات الجسم مع الأحماض الأمينية الناتجة من الغذاء لتصبح الاحتياطى العام لتمثيل البروتينات.

ويساعد العمل البدنى بروتينات البلازما والبنكرياس والكبد والكلى بانخفاض معدل تغيرها، بينما تتميز بروتينات العضلات والجلد بزيادة معدل تغيرها، وأحيانا يختلف معدل تغير البروتينات فى النسيج الواحد تبعا لعمر الفرد ومكان التغير.

فوائد البروتينات:

تدخل البــروتينات فى تكوين الإنزيمات والهوزرمــونات بالجسم، كــما تتكون مــنها بروتينات الأنسجة لتحل مــحل الأنسجة التالفة أو البالية، ويتكــون منها النسيج العضلى والنسيج الليفى والضام، وكذلك تكوين بروتينات البــلازما مثل الألبومين والجلوبيولين، وكذلك تكوين الأجسام المضادة التى تساعــد على مقاومة الأمراض، وتشترك فى تكوين بعض أجــزاء الهيمــوجلوبين، عــلاوة على الدور الهام الذى تلعــبه البــروتينات فى نقل الصفات الوراثية من خــلال الأحماض النووية، ولذلك يعرفها بعض الــعلماء بأنها مادة الحياة أو الأساس الهام فى استمرار الحياة.

ويقدر الاحــتياج اليــومى للشخص البالــغ من البروتين حوالى جــرام واحد لكل كيلوجرام من وزن الجسم، وتزداد هذه الكميــة لدى بعض الأفراد وخاصة الرياضيين أو عند الأم الحامل والمرضع.

التقسيم الكيميائى للبروتين:

البروتينات البسيطة: Simple Proteins

ينقسم ذلك النوع من البروتين تبعــا لعدة خواص مميزة إلى عدة مجمــوعات فرعية هى:

١ - بروتامين: Protamine

هو أبسط أنواع البروتين ولا يحتوى على الكــبريت، ولكنه يعطى أملاحا بلورية، ويوجد بكثرة فى الأسماك.

٢- هستون: Histone

هو بروتين ذو خــواص قاعدية ويوجــد على هيئــة نيوكلو بروتين فــى كرات الدم الحمراء والبيضاء.

٣- ألبومين: Albomine

بروتين يذوب فى الماء ويتخــثر عند التــسخين ويكثر فى زلال البــيض ومصل الدم والنسيج العضلى.

٤- جلوبولين: Globuline

يذوب فى محاليل الأملاح ويوجد مع ألبومين أينما وجد.

٥- البرولامين: Prolamine

يوجد فى الحبوب ومنه نوعان

أ- الجلياذين Gliadine

ب- الجلوتين Glutene

وكلاهما موجود فى القمح وهو الذى يعطى العجينة ما يعرف بالعرق.

٦- سليكروبروتين: Selceroprotin

وهى غير قابلة للذوبان فى الماء ومنها الكيرياتين والكولوجين والإلستين حيث الأول فى الشعر والجلد، والثانى فى النسيج الضام والغضاريف والثالث فى الأنسجة المرنة.

البروتينات المركبة: Conjugated Proteins

١- فوسفو بروتين: Phosphoprotein

وهو يحتوى على الفوسفور مثل كازين اللبن، حيث يتسم بخواص حمضية، وهو يذوب فى المحاليل المخففة للقلويات، ويوجد الكازين فى اللبن على هيئة ملحه الكالسيومى، ويوجد الفوسفوبروتين فى صفار البيض وفى الأسماك.

٢- الجلوكوبروتين: Glucoprotein

يوجد فى الغدد اللعابية وفى الكبد وفى غدد الأمعاء وفى الغضاريف وزلال البيض، وهو يحتوى على مواد كربوهيدراتية من النوع المتعدد.

٣- الليبوبروتين: Lipoprotein

يحتوى على بروتين ومواد دهنية لا تذوب فى الماء ولكن بعد اتحادها بالبروتين يمكن أن تسبح فى الماء، وهناك علاقة بين هذا النوع ودهون الدم ومنها يتكون ما يعرف بمادة الكولسترول.

٤- الكروموبروتين: Chromoprotein

البروتينات المقرونة بالمواد الملونة مثل الهيموجلوبين المادة الملونة لكرات الدم الحمراء وكذلك مادة الكلوروفيل الموجودة فى النبات، والمادة الزرقاء فى الحيوانات اللافقارية والتى تعرف بالهيموسايانين.

٥- النيوكلوبروتين: Nucloprotein

وهذه توجد فى نواة الخلايا وهى تتحلل إلى الأحماض النووية والتى تكون مسئولة عن حمل ونقل الصفات الوراثية عبر الأجيال والمعروفة بـ DNA، RNA، وسوف يتم التعرض لهما بالتفصيل فى جزء لاحق من هذا الفصل.

الأحماض الأمينية: Amino Acids

تعتبرالأحماض الأمينية هى اللبنة الأولى التى يتكون منها جزىء البروتين، وتتركب كما سبقت الإشارة من مجموعة سلاسل طويلة بواسطة ما يسمى الروابط الببتيدية.

ويوجد بالجسم حوالى ٢٢ حمض أمينى منها ما هو أساسى ومنها ما هو غير أساسى.

الأحماض الأمينية الأساسية: Essential amino acids

١- تربتوفان Tryptophan
٢- ثرونين Threonine
٣- ليوسين Leucine
٤- لايسين Lysine
٥- إيزوليسين Isoleucine
٦- ميثونين Methionene
٧- فالين Valine
٨- فينايل ألنين Phenyl Alanine
٩- هستدين Histidine

الأحماض الأمينية غير الأساسية: Non Essential amino acids

١- ألانين Alanine
٢- برولين Proline
٣- جيلسين Glycine
٤- أسبرجين Asparagine
٥- سيستان Cysteine
٦- سيستين Cystine

٧- جلوتامين	Glutamin
٨- حامض أسبرتك	Aspartic acid
٩- سرين	Serine
١٠- تيروسين	Tyrosine
١١- أرجنين	Arginine

تمثيل الأحماض الأمينية: Amino Acid Metabolism

بعد هضم وامتصاص البروتينات الموجودة فى الغذاء، تتحلل إلى الأحماض الأمينية التى يمكن أن تستخدم للأغراض البنائية لنباء جزيئات جديدة من البروتين أو أن تستخدم فى عمليات الهدم.

وفى معظم تفاعلات الهدم وبعض تفاعلات البناء تتعرض الأحماض الأمينية لنزع مجاميع الأمين وتكوين الأحماض العضوية الكيتونية وتسلك كل من هذه النواتج المسالك الخاصة بها.

ويمكن أن يدخل النيتروجين فى تخليق البيورينات، وأما الهيكل الكربونى للأحماض الأمينية فإن معظمه يتجه نحو تكوين المواد الكربوهيدراتية والقليل منها يدخل فى تكوين الأحماض الدهنية وتتأكسد هذه المكونات الحيوية خلال دورة كربز إلى ثانى أكسيد كربون وماء كنواتج نهائية لعمليات التمثيل.

ويجب ملاحظة أن بعض الأحماض الأمينية تسلك مسالك خاصة في مجرى التحولات الحيوية وتعطى نواتج نهائية مختلفة مثل الكبريتات والكرياتينين.

ويقدر التركيز الطبيعى للأحماض الأمينية فى الدم ما بين ٣٥-٦٥ ملليجرام٪.

مجموعة الأمينو: Amino Group

عملية انفصال مجموعة الأمينو من الحمض الأمينى لتكوين الأحماض العضوية الكيتونية المقابلة للهيكل الكربونى للأحماض الأمينية تعتبر خطوة رئيسية فى بداية التحولات الحيوية التى تحدث للأحماض الأمينية، وتتم عملية نزع مجموعة الأمينو بعدة طرق نذكر منها:

١- نزع مجموعة الأمينو بالأكسدة: Oxidative deamination

٢- نزع مجموعة الأمينو بغير الأكسدة: Non Oxidative deamination

٣- نقل مجموعة الأمينو Transamination

٤- عبور مجموعة الأمينو Trans deamination

تحولات بعض الأحماض الأمينية فى العمليات الحيوية:

تشمل هذه العملية تكوين وتحولات الأحماض الأمينية فى العمليات الحيوية العديدة، والتى تتم من خلال مجموعة تفاعلات معقدة لا مجال لذكرها فى هذا الكتاب.

وسوف نقتصر على مناقشة وإيضاح مبسط لتحولات واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الهامة فى التحولات بالخلايا والتى تدخل فى مركبات حيوية هامة.

١ - كرياتين وكرياتينين: Creatine and Creatinine

عملية تكوين الكرياتين تتم فى خطوتين فى الكلية والكبد والبنكرياس.

* ففى الخطوة الأولى تنتقل مجموعة (الأميدين amidine) من الأرجنين إلى الحمض الأمينى ليتكون مركب (جواندو Guanido).
* وفى الخطوة الثانية تنتقل مجموعة (ميثينين Methinonine) من الحمض الأمينى إلى الجليكو سيامين ليتكون الكرياتين.
* وفى الخطوة الثالثة ينزع جزىء ماء من الكرياتين ليتكون الكرياتينين الذى يفرز فى البول.

والكرياتين مادة مستقبلة للفوسفات لأنها مشتقة من «فوسفو كرياتين Phospho creatine» (PC) والذى يحتوى على رابطة فوسفاتية ذات طاقة عالية وهو منتج للفوسفات.

٢- أرجنين: Arginine

ينتشر الأرجنين فى جميع البروتينات، وعلى الرغم من أنه حمض أمينى غير أساسى، إلا أنه يتحلل فى العمليات الحيوية فى الفقاريات إلى يوريا وكرياتينين.

ويتكون الأرجنين من الأورنتين الذى يتكون بدوره من حمض جلوتاميك، وقد اقترح كربز Krebs وآخرون دورة توضح تكوين الأرجنين حيث ينتهى إلى تكوين اليوريا.

ويتحلل الأرجنين بـتأثير إنزيم أرجـينيز إلى يوريا Urea ويتم تخليقـها فى الكبد نتيجة تحولات الأحماض الأمينية.

٣-سيستين Cystine

يتكون هذا الحمض الأمينى من سيرين Serine وهو حمض غير أساسى.

٤- تربتوفان: Tryptophan

يتكون هذا الحمض الأمينى الأساسي بإدخال مجـموعة الأمينو بالاختزال لحمض البيروفك Pyruvice.

والتحولات الحيوية له عديدة ويتكون عنها الكثيـر من المركبات الحيوية الهامة مثل حمض نيكوتينك وحمض الخليك.

الأحماض النووية: Nucleic Acids

اكتـشف الحمض النووى (ريبـونيوكليك Ribonucleic acid RNA) وتم عـزله لأول مرة من الخميرة yeast.

واكتشف الحمض النووى (دى أوكسى ريبونيوكليك DNA) فى غدة التيموس.

وفى الوقت الحاضر تم استخلاص الأحماض النووية والتعرف على أنواعها وثبت وجود كل من RNA، DNA فى جميع الخلايا الحية.

وتتواجد الأحـماض النووية فى الخلايا الحية مرتبطة بـالبروتين مكونة البروتينات النووية Nucleoproteins وهو نوع من البروتينات المرتبطة.

وتشكل الأحماض النووية فيه الجزء اللابروتينى (أى المجموعة التعويضية) وتعزى أهمية البروتينات النوية إلى الخواص الكيميائية والبيولوجية لتلك المجموعة التعويضية.

أما الجـزء البروتينـى فى البروتينات النووية غـالبا مـا يكون من نوع البروتامـينات Protamines والهستونات Histones.

وتتميز هذه البروتينات بأن تأثيرها قاعدى نظرا لسـيادة الأحماض الأمينية القاعدية بها مثل الأرجنين.

البروتامينات والهستونات: Protamins and Histons

تتميز البـروتامينات بانخفاض الوزن الجزيئى، وهى قاعدية التأثيـر نظرا لاحتوائها على الأحمـاض الأمينية القاعـدية مثل الأرجنين، وهى تحمل شحنة كـهربية موجـبة فى الوسط الفسيولوجى العادى للخلية.

أما الهستونات فإنها قاعدية أيضا، إلا أنها أكثر تعقيدا وتتميز بارتفاع الوزن الجزيئى، وهى تحتوى على عدة أنواع من الأحماض الأمينية أغلبها من النوع القاعدى مثل الليسين والأرجنين والهستدين.

ويلاحظ أن نقطة التعادل الكهربى للأحماض النووية تقع فى الجانب الحامضى من قيمة PH وعلى ذلك تكون محملة بشحنة كهربية سالبة فى الوسط الفسيولوجى فى الخلية، وترتبط الأحماض النووية بالبروتينات النووية بروابط محلية.

وقد ترتبط الأحماض النووية فى بعض الأحيان بأنواع أخرى من البروتينات أكثر تعقيدا من البروتامينات والهستونات بواسطة روابط تساهمية وتتواجد كل من DNA، RNA فى النواة والسيتوبلازم.

وترجع أهمية البروتينات النووية إلى دورها المباشر فى علم الوراثة وتخليق الجينات Gens عبارة عن بروتينات نووية.

تركيب الأحماض النووية:

تتميز بارتفاع الوزن الجزيئى لها وتحتوى على الفوسفوريك وبنتوز وقواعد نتروجينية وهى كالتالى:

جدول (٣) تركيب الأحماض النووية

DNA		RNA	
فسفوريك	H3 Po4	فوسفوريك	H3 Po4
ديزوكسى ريبوز	Dezoxy ribose	ريبوز	Ribose
أدينين	Adenine	أدينين	Adenine
جوانين	Guanine	جوانين	Guanine
سيتوزين	Cytosine	سيتوزين	Cytosine
ثيمين	Thymine	يوراسيد	Uracid

يلاحظ وجود اختلاف بين المكونات الرئيسية للحامضين حيث يحتوى DNA على سكر ديزوكسى ريبوذ، بينما يحتوى RNA على سكر الريبوز، ويحتوى RNA يوراسيل بينما يحتوى DNA على ثيمين.

وفى الأحماض النووية تتواجد البنتوزات فى الصورة الغروانية

تركيب النيوكليوتيد والنيوكلوزيد:

نيوكليوتيد Nucleotid	نيوكلوزيد Nucleosid	قاعدة نتروجينية
حمض أدينيليك Adenylic Acid	أدينوزين Adenosine	أدينين Adenine
حمض جوانيليك Ganylic Acid	جوانوزنن Guanosine	جوانين Guanine
حمض سيتيدليك Cytidylic Acid	سيتوزين Cytosine	سيتوزين Cytosine
حمض ثيميديليك Thymidylic Acid	ثيميدين Thymidine	ثيمين Thymine
حمض يوريدليك Urtidylic Acid	يوريدين Uridine	يوراسيل Uracil

تعتبر النيوكليوتيدات أثيرات فوسفاتية للينوكلوزيدات حيث يرتبط حمض الفوسفوريك مع ذرة كربون رقم ٣ أو ٥ فى سكر الريبوز فى جزىء RNA أو فى ديزوكسى ريبوز فى حالة DNA.

وعند فسفرة حمض أدينيليك Adenylic يتكون أدينوزين ثنائى الفوسفات ADP وباستمرار الفسفرة يتكون أدينوزين ثلاثى الفوسفات ATP.

وفى حالة الجوانوزين Guanosine أحادى الفوسفات ينتج جوانوزين ثنائى وثلاثى الفوسفات وهكذا.

* * *

الفصل الرابع

الطاقة فى عمليات التمثيل الغذائى



- مقدمة
- المرحلة الأولى
- المرحلة الثانية
- المرحلة الثالثة
- المركبات ذات الطاقة العالية
- المركبات ذات الطاقة المنخفضة
- ثلاثى أدينوزين الفوسفات
- أكسدة الكربوهيدرات
- الأكسدة اللاهوائية
- الأكسدة الهوائية



الطاقة فى عمليات التمثيل الغذائى

المقدمة:

جميع المواد الغذائية التى يتناولها الإنسان هى المسئولة عن خروج الطاقة التى تحتاج إليها الخلايا، وتسمى عملية هدم المواد الغذائية بـ(Catabolism) وتسمى عملية البناء (Anabolism) ويمكننا أن نقسم عملية هدم المواد الغذائية إلى ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى:

وفيها تتحلل المركبات العضوية المعقدة ذات الوزن الجزيئى المرتفع إلى مركبات أبسط منها، حيث تتحلل الكربوهيدرات إلى هكسوزات (Carbohydrates → Hexose)، وتتحلل المواد البروتينية إلى أحماض أمينية (Protein → Amino acid) وتتحلل المواد الدهنية إلى أحماض دهنية وجليسرول (Fat → FFA + glycerol).

وجدير بالذكر أن كمية الطاقة تخرج على صورة حرارة مع ملاحظة أن كمية الطاقة الحرة للتحلل لكل واحد جرام تكون على النحو التالى:

- ٤,٣ كيلو كالورى للروابط الجليكوزية فى النشا
- ٣,- كيلو كالورى للروابط الببتيدية فى البروتين
- ٩,- كيلو كالورى للروابط الجليسرولية فى الدهون

المرحلة الثانية:

وفيها تتحول نواتج المرحلة الأولى إلى عدد بسيط من المركبات، تتم أكسدتها فى المرحلة الثالثة، حيث تتحول الهكسوزات (Hexose) والأحماض الدهنية (FFA) إلى إسترات فوسفاتية.

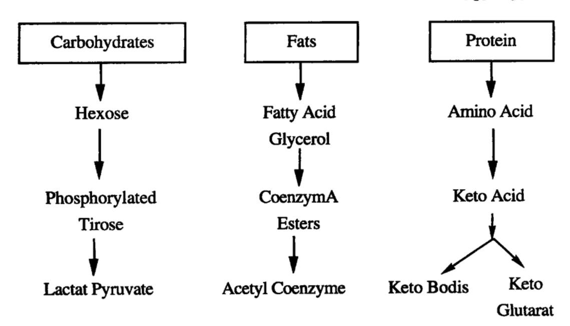
ويمكن للهكسوزات تحت الظروف اللاهوائية Anaerobic Condition أن تتكسر جزئيا وتنتج لاكتات Lactat وكحول، أما فى الظروف الهوائية فإن الناتج يكون البيروفات Pyruvic والتى تتأكسد إلى أستيل كوإنزيم Acetyl Coenxyme.

وتتحول الأحماض الأمينية بعد نزع مجموعة الأمين إلى الأحماض الكيتونية Deto acids، حيث يسلك النتروجين والكبريت مسلكا خاصا وتظهر فى النهاية اليوريا والأمونيا (Uric Acid, Amonia). وكبريتات غير عضوية، أما الهيكل الكربونى لبعض الأحماض الأمينية فيتحول إلى أستيل كوانزيم وأجسام كيتونية Ketone Bodies.

المرحلة الثالثة:

وهى تعتبر أهم مرحلة من مراحل هدم المواد الغذائية من حيث كمية الطاقة المنطلقة، والتى تستفيد منها الخلية الحية، حيث تدخل نواتج المرحلة الثالثة فى دورة كربس أو دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل (Tnicorboxylic Acid or Krebs Cycle) وتستمر عمليات الأكسدة فى الخلية ليكون فى النهاية ثانى أكسيد كربون Co2 والماء H2o.

يتحول حوالى ٣٠ - ٤٠٪ من الطاقة المنفردة فى المرحلة الثالثة إلى طاقة حرارية للمحافظة على حرارة الجسم، ويستفاد بحوالى ٦٠-٧٠٪ من الطاقة فى عمليات التخليق الحيوى المختلفة.



شكل (٧) Tricarboxylic Acid Cycle

المركبات ذات الطاقة العالية : High energy Compounds

من المعروف أن الطاقة الحرة الناتجة من التـحليل المائى للروابط الكيميائية F، A، لا تعنى طاقة الروابط الكيمـيائية Bond Energy ، وتنقسم المركبات ذات الـطاقة العالية إلى قسمين تبعا لكمية الطاقة الحرة المنفردة من تحلل الروابط الكيميائية.

وعمومـا فإن مركبات الطاقة العـالية تنفرد منها طاقة حـرة قدرها من ٦-١٢ كيلو كالورى/ مول عند التحلل المائى لها.

ويواجه هذا التقسيم صعوبات منهـا أن المركبات العضوية تكون سلسلة متصلة من التفاعلات عند ترتيبها تصاعديا أو تنازليا تبعا لكمية الطاقة الحرة لتحلل الروابط.

فمثلا هناك بعـض المركبات ذات طاقة حرة للتحلل قدرهـا ٥ كيلو كالورى/ مول مثل هكسوزات الفوسفات (Hexose - 1- Phosphate).

ومن أهم المركـبـات ذات الطاقة العـاليـة المركبـات الفـوسفـاتيـة مثـل فوسـفـو إينـول بيــروفـات (Phospho enol Pyruvate) وثـلاثـى أدينـوزيــن الفـوسـفــات (Adinosin Triphosphat) (ATP).

٢- المركبات ذات الطاقة المنخفضة: Low energy Compounds

وهى المركبات التى تنفرد منها طاقـة حرة قدرها من ٢-٤ كيلو كالورى/ مول عند تحلل الروابط الكيـميائيـة مثل الجليـسروفوسـفات وجلوكـوز ٦ فوسفـات وفركـتوز ٦ فوسفات.

شكل (٥) الطاقة الناتجة عن بعض المركبات

المركب	الطاقة الحرة
جليسروفوسفات	٢,٢ كيلو كالورى / مول
جلوكوز ٦ فوسفات	- ٣, كيلو كالورى / مول
فركتوز ٦ فوسفات	٣,٣ كيلو كالورى / مول
أدينوزين ثلاثى الفوسفات	- ١٢, كيلو كالورى / مول
أدينوزين ثنائى الفوسفات	- ١١, كيلو كالورى / مول

ثلاثى أدينوزين الفوسفات: Adinosin Tri - Phosphate

مركب (ATP)، (ADP) ثلاثى وثنائى أدينوزين الفـوسفـات، من بين المركـبات ذات الطاقة العـالية، وهى من نوع البيروفـوسفات (Pyrophosphate) التى تتمـيز بمركز خاص من مجموعات ذات الطاقة العالية.

وتستخدم فى التفاعلات التى تحتاج للطاقة؛ سواء كان ذلك بصورة مباشرة أو غير مبـاشرة، ونظرا لأن هذه المركـبات ليسـت ثابتة (Unstable) في الخلية الحـية فـإنها لا تكتسب أهمية فى تخزين الطاقة إذا مـا قورنت بمركب (فوسفوكرياتين Phspocereatin) وكذلك (فوسفو أرجنين Phspoarginine) اللذان يؤديان دورا أساسيا فى تخزين الطاقة بالخلايا العضلية لإمدادها بالطاقة وقت الراحة وعند بذل الجهد البدنى.

O O O

CH_2 - O- P - O P - O P - OH

OH OH OH

NH_2

N N N N O

OH OH

Adinosine tri - phosphate (ATP)

ففى الـتفاعـلات الحيـة بالخلايا العـضلية تنتـقل الطاقة الـكيميـائية المنـفردة من التفـاعلات المنتجة إلى التـفاعلات المستـهلكة لها، فيمكن نقل مـجاميع الفوسـفات من مركب لآخر أو من ذرة إلى أخرى.

Creatin Kinase

ATP + Creatin ------------------ ADP + phosphocratin

phosohozluco muitase

Glucose - 6 - phosphate ------------------------ glucose - 1- phosphate

ويلاحظ أن هذه التفاعلات عكسية reversible ويرجع ذلك إلى تقارب المركبات

ففى هذه التفاعلات تكون قيمة الطاقة الحرة الناتجة من التحليل المائى للرابطة الفوسفاتية الطرفية فى المركب (ATP) تقارب قيمة الطاقة الحرة للرابطة المتكونة فى مركب فوسفوكرياتين، وينطبق ذلك على روابط الإسترفوسفاتية لمركبات جلوكوز ٦ فوسفات.

وفى حالة نقل مجموعة الفوسفات من مركب ذى طاقة عالية إلى مستوى طاقة منخفض، وكذلك نقل الفوسفات من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى الصفر Zero) Level Inorgonic Phos) تكون عادة مصحوبة بخروج كميات كبيرة من الطاقة الحرة، وتعتبر مثل هذه التفاعلات عمليا تفاعلات غير عكسية.

$$\text{ATP + glucose} \xrightarrow{\text{hexokinase}} \text{ADP + glucose - 6 - Phosphat}$$

$$\text{Gucose - 6 - Phospat + H2o} \xrightarrow{\text{phosphat}} \text{Glucose + Phosphat}$$

ويقوم نظام ATP، ADP بدور هام فى نقل الطاقة والمجموعات الفوسفاتية فى التفاعلات وفى العمليات الحيوية المختلفة، وذلك بتكوين تفاعلات ازدواجية، ترتبط فيها تفاعلات الهدم مع تفاعلات البناء عن طريق تكوين مركبات وسطية.

وعلينا أن نفرق بين عمليتين مختلفتين هما:

* التفاعلات الكيميائية المعملية تنفرد عنها طاقة حرارية heat energy ولا تتم بعض هذه التفاعلات إلا تحت درجات حرارة مرتفعة.

* التفاعلات الحيوية تتم فى درجة حرارة الجسم العادية وتستخدم عنها الطاقة الكيميائية Chimical Energg للروابط ذات الطاقة العالية.

أكسدة الكربوهيدرات: Carbohydrate Oxidation

تتم أكسدة الكربوهيدرات فى الجسم من خلال طريقتين هما:

الأكسدة اللاهوائية بـ Anaerobic Oxidation وتحدث هذه العملية أساسا فى العضلات حيث تتأكسد الكربوهيدرات إلى حمض البيروفيك، وفى ظروف نقص الأكسجين حيث يتحول البيروفيك إلى حمض لكتيك (Lactic Acid).

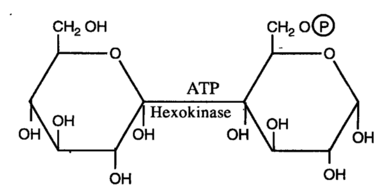
الأكسدة الهوائية: Aerobic Oxidation وهى استمرار لعملية الأكسد اللاهوائية

حيث يتوفر الأكسجين ويكون الناتج النهائى هو ثانى أكسيد الكربون والماء.

١- الأكسدة اللاهوائية: Anaerobic Oxdation

تبدأ الأكسدة اللاهوائية بأن يتحول الجلوكوز إلى صورة أكثر طاقة هى الجلوكوز -٦- فوسفات والتى تعتبر الصورة النشطة من السكر والقابلة على الدخول بسهولة فى التحولات الحيوية داخل الجسم.

ويلامس هذا التحول إنزيم Hexo Kinase الذى يجعل الجلوكوز قابلا لاستقبال الفوسفات من الـ ATP كما يلى:



وعملية فسفرة الجلوكوز لتكوين جلوكوز ٦ فوسفات تعتبر عملية منتجة للطاقة وغير عكسية حيث تشمل تكسير أحد الروابط الغنية بالطاقة وتكوين رابطة فوسفات إستر فقيرة نسبيا بالطاقة.

ويؤثر على هذا التفاعل هرمونات الأنسولين، العوامل الموجودة فى إفرازات الفص الأمامى للغدة النخامية Anterior Pituitary Factors وهرمونات قشرة الغدة فوق الكلى، وهذا التفاعل يعتبر من أهم التفاعلات فى ميتابولزم الكربوهيدرات كما يلى:

Glucose 6 - phosphate ➙ Glucose 1- Phosphate ➙ Glycogen

١- يتحول الجلوكوز ٦ فوسفات ➙ جلوكوز - ١ فوسفات ➙ جليكوجين.

٢- جلوكوز ٦ فوسفات ➙ جلوكوز (فى الكبد بواسطة الفوسفاتيز).

٣- جلوكوز ٦ فوسفات ➙ فركتوز ٦ - فوسفات (تستمر الأكسدة كما سيتضح فيما يلى:

٤- جلوكوز ٦- فوسفات ➙ جلوكوز ٦ فوسفات ➙ بنتوز + CO_2 وهذه

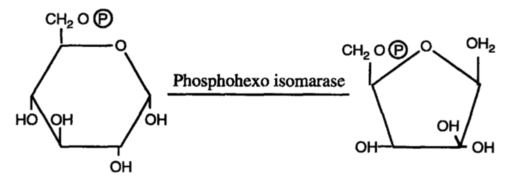
إحـدى وسائل تكوين السبنتوزات داخل الجسم لكى تدخل فى تكويـن بعض المركبـات الهامة.

إذا كانت المادة الكربوهيدراتية التى ستتحول خلال Glycolysis هى الجليكوجين فإن الخطوة الأولى تكون تحللها بواسطة إنزيم الفوسفوريلز إلي جلوكوز فوسفات والذى يتحول إلى جلوكوز ٦ فوسفات بواسطة إنزيم فوسفو جلوكوميوتيز.

فوسفوريلز mutose

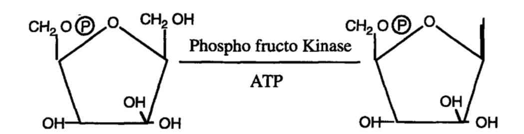
جليكوجين ← جلوكوز ١- فوسفات ← جلوكوز ٦- فوسفات.

٢- يتحـول جلوكوز -٦- فـوسفات بتـأثير فـوسفو فـركتوكـينز إلى فوكـتوز ٦ فوسفات.



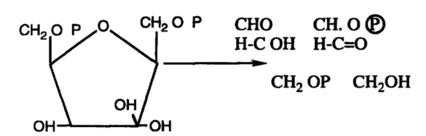
Fructose - 6 phosphate

٣- المركب فركتوز - ٦- فوسفات تحت تأثير إنزيم فـوسفو فركتوكينز يتحول إلى فركتوز ١ ;٦ داى فوسفات وذلك فى وجود جزىء واحد من ATP.



Fructose - 1,6-11 Phosphate + ADP

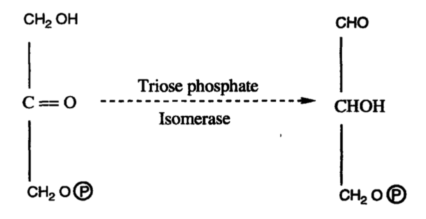
٤- المركب فـركتوز ١، ٦ داى فـوسفـات تحت تأثير إنزيم الألوولـيز يتحـول إلى المركبين ٣- فوسفوجلسرالدهيد وفوسفو داى أوكس أسيتون حسب المعادل الآتية.



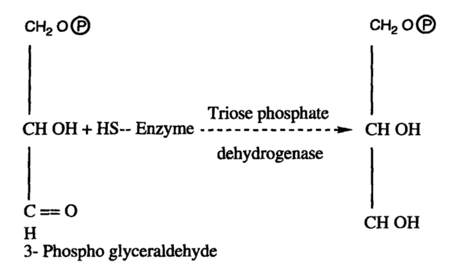
3- phosp'ho + Dihydroxy
glyceraldhid acetone phosphate

ومما يلاحظ أن ٣- فوسفوجـلسرالدهيد يكون بنسبة ٥٪ وأما فـوسفوداى أوكسى أسيتون بنسبة ٩٥٪.

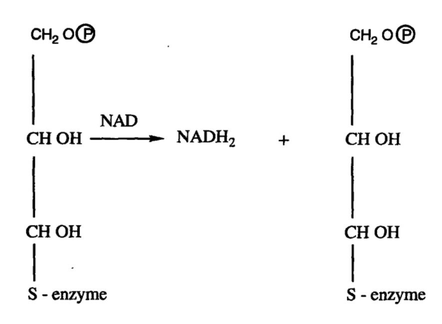
٥- المركب فوسفـوداى أوكسى أسيتون لا يتراكم بالنبـات أو الحيوان ولكن تحت تأثير إنزيم تربوز فوسـفات إيزومريز يتحول إلى ٣- فـوسفوجليسرالدهيـد حسب المعادلة الآتية:



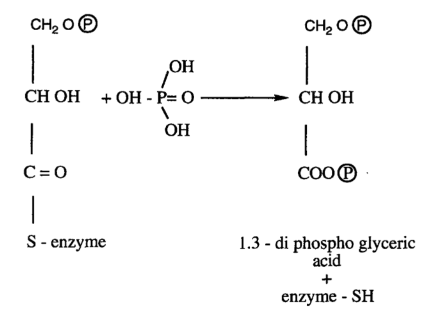
٦- المركب ٣- فوسفوجلـسرالدهيد تحت تأثير إنزيم نزيوزفوسفـات ديهيد روجنيز ومرافقة بالجلوتانيون يعطى مركبا معقدا بين الإنزيم وذلك المركب حسب المعادلة الآتية:



٧- الناتج السابق يـتأكسـد فى وجود NAD ويعطى مركـبا ذا طاقة عـالية وذلك حسب التفاعل الآتى:



٨- الناتج السابق ذو الطاقة العالية تحت تأثير إنزيم الفوسـفورليز يحدث له فسفرة فى وجود حمض الفوسفوريك ليعطى المركب ١, ٣ داى فوسفو حمض جلسريك.

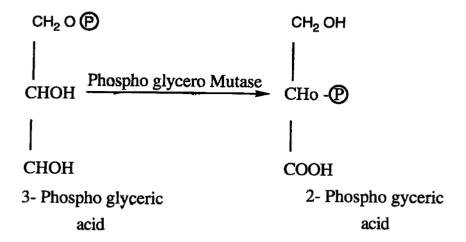


٩- المركب ١ ، ٣ داى فوسفو جلسريك مع ADP يعطى ATP وحمض ٣- فوسفوجلسريك وذلك فى وجود الإنزيم تريوز فوسفات كينيز وذلك حسب المعادلة الآتية:

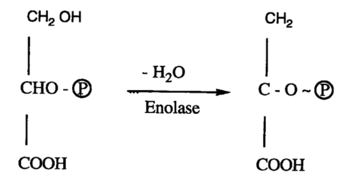
$$\begin{array}{l} CH_2O\text{Ⓟ} \\ | \\ CHOH \\ | \\ COO\text{Ⓟ} \end{array} + ADP \xrightarrow[\text{Kinase}]{\text{Triose phosphate}} ATP + \begin{array}{l} CH_2O\text{Ⓟ} \\ | \\ CHOH \\ | \\ COOH \end{array}$$

3- Phospho glyceric

١٠- تحت تأثير فوسفو جلسرو ميوتيز يتحول ٣- فوسفو جلسرو إلى ٢ فوسفو جلسريك.

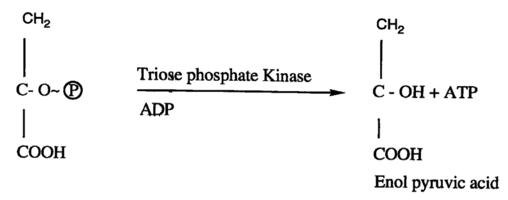


١١- تحت تأثير إنزيم Enolase يتحول المركب ٢- فوســفو جلسريك إلى المركب ٢- فوسفو إنيول حمض بيروفيك ذو الطاقة العالية.



2- phospho enol pyruvic

١٢- يتــحول المركب ٢- فــوسفو إنيــول حمض الــبيروفــيك إلى حمض أنــيول بيروفيك وذلك فى وجود ADP و إنزيم Triose phosphate Kinase.



Enol pyruvic acid

١٣- والمركب إنيول حمض البيروفيك غير ثابت فيتحول إلى الصورة الثابتة وهى حمض البيروفيك.

$$\begin{array}{c} CH_2 \\ | \\ C-OH \\ \\ COOH \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C=O \\ \\ COOH \end{array}$$

Pyruvic acid

ومن خلال دورة الجليكوليزيز نجد أن جزيئا واحد جلكوز يعطى ٢ جزىء حمض بيروفيك وكمية الطاقة المنفـردة من خلال تلك الدورة فى صورة عدد من جزيئات ATP هو جزيئان ATP، وكـذلك عدد ٢ جـزىء $NADH_2$ التى عند أكسـدتهما يعطيان سـتة جزيئات ATP حيث عند أكسدة جـزىء واحد من $NADH\ H_2$ يعطى ثلاث جزيئات، ATP عند أكسدة جزىء واحد جلكوز خـلال دورة الجليكوليزيز حتى يعطى جزيئات من حمض البروفيك وهذه تعتبر أكسدة غير كاملة.

ونجد أن حـامض البيروفـيك الناتج فى ظروف الأكسدة الغـير هوائية يتـحول إلى مركبات كثيرة نذكر منها الآتى:

١- فى ظروف غير هوائية يتأكسد حمض البيـروفيك معطيا أستيالدهيد وغاز Co_2 وذلك فى وجود إنزيم Decarboxylase ديكاربوكسيلاز.

$$CH_3 - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - COOH \longrightarrow CH_3 - CHO + CO_2$$

Pyruvic acid — acetaldehyde

٢- يحدث اختزال للمركب الأستيـالدهيد فى وجود إنزيم الكحول ديهيد روجنيز ومراقبة $NAD\ H_2$ فيعطى كحول الإيثانول.

$$CH_3\ 6\ CHO + NADH_2 \longrightarrow CH_3\text{- } CH2\ OH + NAD$$

Ethanol

ونجد أن الطاقة المتكونة من خلال عملية التخـمر الكحولى عبارة عن جزيئان فقط من ATP وعملية التخمر الكحـولى تبدأ من الجلكوز كما سبق فى دورة - الجليكوليزيز حتى يتكون حمض البيروفيك ثم أكسدته إلى الأسيـتالدهيد ثم اختزال الأسيتالدهيد إلى كحـول الإيثانول بهـذا، فعند أكـسدة جـزىء واحد جلكوز من خـلال عمليـة التخـمر الكحولى يتكون جزيئان من كحول الإيثانول من ATP .

٣- تحت الظروف الغير الهوائية بالأنسجة الحيـوانية يتحول حمض البيروفيك من خلال عملية التخمر اللبنى إلى حـمض اللاكتيك. وذلك حسب المعادلة الآتية وذلك فى وجود إنزيم «Lactate dehydregenase».

$$CH_3 - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - COOH + H_2 \text{ ---------- } CH_3 - COOH + CH\ OH$$

Pyrovic Acid — Lacetic Acid NAD

وكمية الطاقة الناتجة عند أكســدة جزىء واحد جلوكوز فى ظروف غير هوائية من خلال عملية التخمـر اللبنى هى عبارة عن جزيئان ATP، وذلك يتكون جزيئـان حمض اللاكتيك.

٤- وفى الظروف الهـوائية يتـأكسد حـمض البيـروفيك إلى حـمض خليك وفلز CO_2 وهى أكسدة غير كاملة أيضا.

$$CH_3 - C^o - COOH + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CH_3 - COOH + CO_2$$

aceticacid

٥- يتحـول حمض البـيروفيك إلى أحـماض أمـينية وهو حمـض الألنين حسب المعادلة الآتية:

$$CH_3 - C - COOH + NADH_2 + NH_3 \text{ ----- } WAD + CH_3 - CH - CooH - NH_2$$

alanine

٦- حمض البـيروفيك يدخل فى تخـليق الدهون حيث يتحـول إلى أسيتـالدهيد الذى يكون حمض خليك ومنه يتكون أستيل كوانزيم A والذى يكون الأحماض الدهنية الداخلة فى تكوين الدهون.

ويمكن أخذ فكرة بسـيطة عن كمية الطاقـة فى صورة ATP خلال الأكسـدة الغير كاملـة للجلكـوز، وذلك مـن خـلال العمليات المخـتلفة السابقـة وهى التى تحدث فى ظروف غير هوائية وهى:

١) عملية الجليكوليزيز (أكسدة غير كاملة للجلكوز فى ظروف غير هوائية) جزىء واحد جلكوز يعطى
٢ جزىء حمض بيروفيك
٢ جزىء ATP
٢ جزىء $NAD.H_2$

٢) عملية التخـمر الكحولى (أكسدة غير كاملة للجلوكـوز فى ظروف غير هوائية) جزىء واحد جلكوز يعطى
٢ جزىء كحول أثيانول
٢ جزىء ATP

٣) عمليـة التخمـر اللبنى (أكسـدة غير كـاملة للجلكوز فى ظروف غيـر هوائية) جزىء واحد جلكوز يعطى
٢ جزىء حمض لاكتيك
٢ جزىء ATP

ولكى يتأكـسد حامض البـيروفيك أكسـدة كاملة إلى CO_2 والماء فـيـتم ذلك فى ظروف التنفس الهوائية أو الأكسدة الهوائية، وذلك من خلال دورة تسمى بدورة حمض الستريك.

الأكسدة الهوائية: Aerobic Oxidation

تتم أكسدة المواد الكربوهيدراتية هوائيا فى وجود الأكسجين بخطوات مماثلة تماما لما يحدث فى الظروف الغير هوائية حتى يصل السكر إلى حمض بيروفيك.

جلوكوز ——glycolysis——◄ ٢ جزىء حمض بيروفيك
$CH_3 -- CO -- COOH$

وتتم الدورة كما يلى:

١- يتحول جزئى من حمض البيروفيك إلى صورة الأستيات النشطة ويفقد CO_2 ويتم ذلك فى وجـود إنزيم Decerboxy - lase وكوإنزيم TPP بيروفك إسترلوكسيديز

NAD والليبويبك وكذلك مرافق الإنزيم FAD ويتحول الجزء الآخر من البيروفيك نتيجة اتحاده مع CO_2 الناتج من التفـاعل السابق إلى حمض أوكسـالواستيك «Oxaloacitic» وتتم التفاعلات كما يلى:

$$CH_3 - \overset{O}{C} - COOH$$

Pyruvic acid
COASH + Lipoic
+ TPP
+ NAD
+ FAD

$$CH_3 - \overset{O}{C} - SCOA$$

acetyl COA
$+ AADH_2$

$$COOH = \overset{O}{C} - CH_3 + CO_2$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$COOH - CO - CH_2 - COOH$$

ملحوظة:

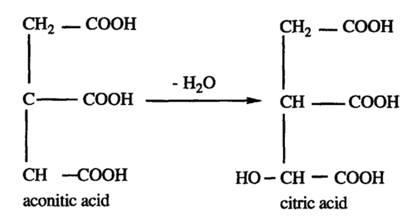
تعتبر دورة خمض السِتريك هى الدورة الأساسـية لأكسدة المركبات الكربوهيدراتية داخل الجسم، وإذا حدث خلل فى ميتـابوليزم الكربوهيدرات أو نقصت فى الغذاء على حساب المواد الدهنية فإن الأستيل كـوا الناتج من أكسدة الأحماض الدهنية لا يدخل فى دورة الستريك ولكنه يتحول إلى تكوين الأجسام الكيـتونية، ولذلك فحتى مرضى البول السكرى ينصحون طبيا بضرورة وجود كمية من الكربوهيدرات لكى تكون مصدرا لحمض البيروفيك لكى يتكون منها الأوكسالوأستك «Oxaloacitic» حتى تتم الأكسدة عبر دورة حمض الستريك.

٢- يتحول حمض الستريك إلى حمض أكونتيك فى وجود إنزيم aconitase.

$$\begin{array}{l} CH_2 - COOH \\ | \\ (HO) - C - COOH \\ | \\ CH_2 - COOH \end{array} \xrightarrow{-H_2O} \begin{array}{l} CH_2 - COOH \\ | \\ C - COOH \\ | \\ CH_2 - COOH \end{array}$$

citric acid → aconitic acid

٣- يتحول حمض أكونتيك إلى سترك فى وجود إنزيم aconitase أيضا.



يتكثف مركب $CH_3 - \overset{O}{\overset{\|}{C}} - SOOA$ acetyl COA مع مركب أوكسالوأسيتك الناتجين من الخطوة رقم (١) ليتكون جزئى من حمض الستريك كما يلى:

$$O = \begin{matrix} COOH \\ | \\ C \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{matrix} \quad + \quad \begin{matrix} CH_2H \\ | \\ C \sim SCOA \\ \| \\ O \end{matrix} \quad + HoH$$

oxalo acetic acid

٤- يتأكسد حمض الستريك بنزع أيدروجين وذلك فى وجود إنزيم iso - ctiric debydro - genase إلى حمض أوكسالوسكنيك، وذلك فى وجود المرافق الإنزيمى NAD

$$\begin{matrix} CH_2 - COOH \\ H - C - COOH \\ O - CH - COOH \end{matrix} \xrightarrow[NADH_2]{NAD} \begin{matrix} CH_2 - COOH \\ HO - COOH \\ O = C - COOH \end{matrix}$$

oxalo succinic acid

وبهذا تنفرد كـمية من الطاقة نتيجـة لأكسدة $NADH_2$ إلى NAD وانفراد ثلاث جزيئات ATP .

٥- يفقد حمض اكسالوسكسنيك غاز Co_2 وذلك في وجود إنزيم -Decarboxy lase ويتكون حمض - كـيتوجلوتاريك، وهنا يفقـد الجزء الثانى من Co_2 من حامض البيروفيك، وذلك حسب المعادلة الآتية:

$$
\begin{array}{l} CH_2 - COOH \\ | \\ CH - COOH \\ | \\ C(=O) - COOH \end{array}
\xrightarrow{-CO_2}
\begin{array}{l} CH_2 - COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ C(=O) - COOH \end{array}
$$

- Keto glutaric acid

٦- يتحول حامض كيـتوجلوتاريك إلى المركب سكينيل كوانزيم وذلك فى وجود إنزيم decarbox ylase وإنزيم - Ketoglutaric oxidase والمرافقـات الإنزيمية ,Lipic ,FAD فيتامين بيروفوسفات وإيون مغنسيوم والمركب كوانزيم CO - ASH .

$$
\begin{array}{l} CH_2 - COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ C(=O) - COOH \end{array}
\xrightarrow{-CO_2}
\begin{array}{l} CH_2 - COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CO - S \quad COA \end{array}
+ NADH_2
$$

Succinyl COA

وهذه الخطوة تشابه تماما ما يحدث فى الخطوة رقم (١).

فى هذه الخطوة يفقـد الجزء الثالث من Co_2 من حامض البيروفيك، وفى هذه الخطوة تتم الأكـسدة النهـائية لحـامض البيروفـيك إلى ثلاث جـزيئات Co_2 وفى هذه الخطوة يتكون جـزء واحد من $NADH_2$ الذى يعطى عند أكـسدته ثلاث جـزيئات من ATP .

٧- يتحول المركب سكينيل كوانزيم A إلى حمض السكسنيك وذلك بالتحليل المائى، وفى هذه الخطوة ينفرد جزء واحد ATP حيث كمية قليلة من الطاقة من مركب سكنيل كوانزيم A ذى الطاقة العالية التى تعمل على تكوين المركب GTP الذى يتحد مع ADP ويعطى جزيئا واحدا ATP

$$CH_2 — COOH \;|\; CH_2 — CO—S\sim COA \xrightarrow{HOH} CH_2 — COOH \;|\; CH_2 — COOH \text{ (succinic - acid)} + COA\,SH$$

GDP + Pi → GTP

حيث إن المركب سكنيل كوانزيم A مركب ذو طاقة عالية وذلك حسب المعادلة الآتية:

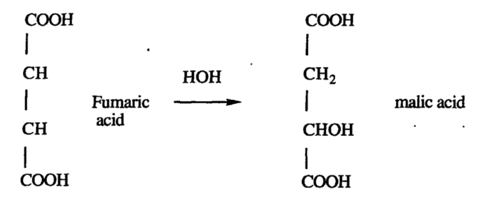
$$GTP + ADP \rightarrow ATP + GDP$$

٨- يتأكسد حامض السكنيك وذلك بنزع ذرتين أيدروجين ويتكون الفيوماريك وذلك فى وجود إنزيم Sucoinic Dehydrogenase مرافقة FAD وفى هذه الخطوة يتكون جزيئان من ATP حيث عند أكسدة المرافق $FADH_2$ إلى FAD يعطى جزئيان من ATP.

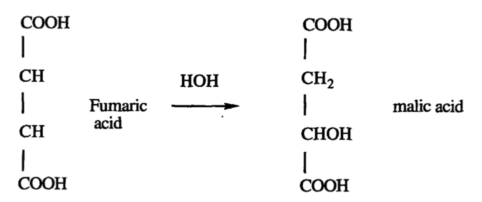
$$COOH—CH_2—CH_2—COOH + FAD \longrightarrow FADH_2 + COOH—CH—CH—COOH \text{ (Fumaric acid)}$$

وبهذا من خلال الخطوتين ٨، ٩ يتكون ٣ جزيئات من ATP.

٩- يعطى حامض الفيوماريك مع الماء حامض ماليك وذلك فى وجود إنزيم Fumarasa.



١٠- يحدث أكسدة لحامض الماليك وذلك يفقد ذرتين أيدروجين واثنين إلكترون ويتكون حمض أكسالوخليك، وبهذا تتم دورة حمض الستريك وينفرد هذا التفاعل ٣- جزيئات ATP حيث يساعد ذلك التفاعل الإنزيم malic dehydrogenase ومرافقه NAD.



oxalo acctic acid

هذا الناتج يرتبط ثانية مع أستيل كوانزيم وهكذا تتكرر الدورة.

وبهذا فالطاقة الناتجة من خلال دورة كربس مقدارها خمسة عشر جزءا ATP، وبهذا فنجد من خلال تلك الدورة تتكون مجموعة من الأحماض العضوية ثنائى الكربوكسيل مثل السكنسيك - الماليك - أكسالوخليك وكذلك ثلاثية الكربوكسيل مثل الستريك - أيزوستريك - حمض أكوتينيك، ونجد للأحماض ثنائية الكربوكسيل أهمية كبيرة عند تحولها لبعضها البعض حيث تعتبر كعوامل لنقل الأيدروجين أثناء عملية التنفس وتستخدم أيضا لتخليق الأحماض الأمينية.

ولكن فى السنين الأخير أمكن اكتشاف طريق آخر لأكسدة الجلوكوز فى ظروف هوائية خلاف دورة حمض الستريك وذلك عن طريق دورة البنتوز فوسفات، ومن خلالها أيضا يتأكسد الجلوكوز فى ظروف هوائية.

الفصل الخامس

الوظائف الحيوية للهورمونات



- مقدمة
- الفرق بين الهورمون والفيتامين
- تقسيم الهورمونات
- الهورمونات المشتقة من الأحماض الأمينية
  - الأدرنالين والعمليات الحيوية بالجسم
  - الثيروكسين والعمليات الحيوية بالجسم.
- الهورمونات البروتينية:
  - الأنسولين والعمليات الحيوية بالجسم
  - جارات الدرقية والعمليات الحيوية بالجسم
  - هورمونات الجهاز الهضمى
  - هورمونات الغدة النخامية
- الهورمونات السترويدية:
  - الكورتيزول والعمليات الحيوية بالجسم
  - الهورمونات الجنسية للذكر والأنثى
- الاستجابات الهورمونية للتدريب البدنى
  - السريعة – المعتدلة – البطيئة

* * *

الهورمونات : Hormones

المقدمة:

يلزم لاستمرار نمو الكائنات الحية علاوة على المواد الغذائية التى تمد الجسم بالطاقة مجـموعة لا تـقل أهمية عن هذه المواد، وتقـوم هذه المجمـوعة بتنظيم النمـو، وتعرف بمنظمات النمو Growth Buffers وتشمل الإنزيمات Enzymes والفيتامينات Vitamins والهورمونات Horomones.

ويرجع الأصل فى كلمة هورمون إلى الكلمـة اليونانية Hormad ومعناها النشط أو الفعال، وهى تسـتخدم لوصف المواد الكيميـائية التى تفرز من الغدد الصـماء وتنتقل خلال الأوعية الدموية إلى الأعضاء الأخرى لتنظيم نشاطها.

وعلى ذلك فالهورمـون هو المادة العضوية التى تنتج طبيعيـا والتى تحدث تأثيرات تنظيمية على الأيض (Mitabolism) فى الكائن الحى، حـيث يحتـاج ذلك الكائن الحى منها إلى كميات قليلة جدا ويظهر تأثيرها بعيدا عن المكان الذى تكونت فيه.

إذن الجهاز الهورمونى فى جسم الإنسان يتكون من مجموعة من الغدد التى تصب إفرازاتها مباشرة فى الدم والتى تعرف بالهورمونات.

ومع أن كلا من الجـهاز الهـورمونى والعصـبى يقومـان بتنظيم معـدلات النشاط الكيميـائى لخلايا أنسجة الجسم المختلـفة، إلا أن الجهاز العصبى يتـميز بسرعة استـجابته لأى اضطراب فى الاستقرار التجانسى لخلايا الجسم كنتيجـة للتغيرات فى البيئة الخارجية أو التغـيرات الانفعـالية، لذلك يطلق عليـه جهاز التـحكم السريع، بينما يتـميز الجـهاز الهورمونى ببطء استـجابته لأى اضطراب في الاستقرار التـجانسى لخلايا الجسم، إلا أن تأثيره يكـون أعمق ويستـمر لفـتر أطول من الجهـاز العصـبى؛ لذلك يطلق عليه جـهاز التحكم البطىء.

الفرق بين الهورمون والفيتامين:

Difference Between Hormon and vitamin:

تشتـرك الهورمونات والفيـتامينات فى أنهـما يقومان بـدور هام فى تنظيم النمو، والتأثير فى أعضاء الجسم، ولكن توجد بين كل منهما بعض الفروق نوجزها فى التالى:

١- تُخلّق الهورمونات فى الجسم نفسه أما الفيتـامينات فيعتمد الجسم فى الحصول عليها من المصادر الغذائية المختلفة. باستثناء فيتامين K.

٢- بعض الهورمونات ذات طبيعة بروتينية، ولذلك فإنها إذا ما تنوولت عن طريق الفم فإنها تهضم بواسطة الإنزيـات الهاضمة، أما الفيتامـينات فإنها لا تهضم بواسطة العصارة الهضمية.

تقسيم الهورمونات:

ليس هناك تقسيم قاطع للهورمونات، إلا أن بعض العلماء قسموها إلى مجموعتين على أساس فسيولوجى أو تكوينى أو تركيبى. ونعرض لنوعين من هذا التقسيم:

التقسيم الأول:

وهو يعتمد على الغدد التى تفرز الهورمون بجسم الإنسان وتتكون من:

١- هورمونات الغدة الدرقية — Thyroid Hormones

٢- هورمونات الغدد جارات الدرقية — Parathyroid Hormones

٣- هورمونات الغدد النخامية — Pituitary Hormones

٤- هورمونات الجهاز الهضمى — Digestive Hormones

٥- هورمونات البنكرياس — Pancereas Hormones

٦- هورمونات الغدة الكظرية — Adrenal Hormones

٧- هورمونات الأنثى Femal Hormones

٨- هورمونات الذكر Mal Hormones

ويرى البعض تقسيم الهورمونات حسب المواد التى تتكون منها أو التركيب الكيميائى لها، وهذا التقسيم يشتمل على:

١ - الهورمونات المتكونة من أو المشتقة عن الأحماض الأمينية Amino acid Hormones.

٢- الهورمونات البروتينية الأصل Protein Hormones.

٣- الهورمونات السترويدية Steroide Hormones.

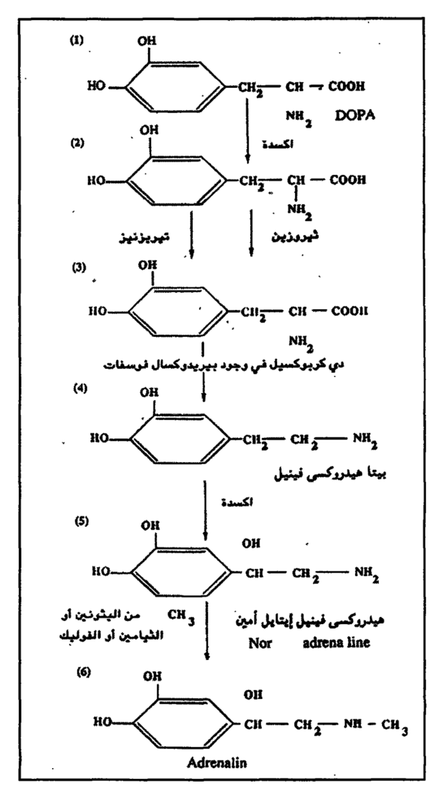
والتقسيم الأخير هو أقرب التقسيمات إلى دراستنا الكيماوية أو الأقرب إلى تناولنا فى هذا الكتاب.

١- الهورمونات المشتقة عن الأحماض الأمينية:

أ- هورمون الأدرنالين Adrenalin Hormone:

يفرز هذا الهورمون من الغدة الكظرية ومن الجزء الداخلى فى النخاع Medulla، وهو أول هورمون أمكن عزله من الغدد الصماء عام ١٩٠٢ بواسطة العالمين (آبل وتاكامين Abel & Takmin) فقد تمكنا من رصد وإثبات رمزه الكيميائى على ضوء تفاعله وكذا عن طريقة تحضيره بالطرق التخليقية من بيتاهيدروكسى ٤,٣ ومن ثاني هيدروكسى فينيل إيتايل أمين.

والتركيب الكيميائى له كالتالى:



شكل (٨) التركيب الكيميائى للأدرينالين

أما النورادرينالين فله بعض الصفات الهورمونية، ولكنه أقل من الإدرينالين وإن كان أكثر أثرا على ضغط الدم الشرياني، وهو يتحول داخل الجسم إلى إدرينالين وذلك بإدخال مجموعة CH_3.

ويتأكسد الإدرينالين فى الوسط القلوى ويكون أكثر قابلية للأكسدة فى الضوء حيث يتحول إلى صبغة الميلامين، كما أنه يستخلص من المحلول المائى الساخن للغدة الكظرية ويرسب البروتين بالكحول والنشادر.

الإدرينالين والعمليات الحيوية بالجسم:

يلعب هورمون الإدرينالين دورا هاما فى عمليات التمثيل الغذائى للمواد الكربوهيدراتية فهو يساعد فى عملية تحول الجليكوجين إلى جلوكوز فى الكبد (Glycogenolysis) حيث إنه يعمل على تنشيط إنزيم فوسفوريلرز (Phophirlyris) اللازم لهذه العملية، كما يعمل على تحليل الجليكوجين فى العضلات إلى حمض البيروفيك واللاكتيك (Glycolysis) .

ويقوم بدور هام فى تنشيط الفص الأمامى للغدة النخامية لكى تفرز هورمون (ACTH) الذى يعمل على زيادة هورمون Adrenal Corticoids الذى يعمل على زيادة تحلل الجليكوجين إلي جلوكوز، أى أنه يعمل على زيادة السكر فى الدم بطريق مباشر وغير مباشر، ولهذا يعتبر من أكثر الهورمونات التى تضاد فعل الأنسولين.

كما يعمل هورمون الإدرينالين على زيادة ضغط الدم عن طريق أنه يزيد من انقباض الأوعية الدموية.

وعلى الرغم من ذلك فإن الهورمون إذا ما توقف إفرازه فى الجسم فإنه لا يؤدى إلى الوفاة.

ب- هورمون الثيروكسين : Thyroxine Hormone

يفرز من الغدة الدرقية، التى تتكون من فصين على جانبى الحنجرة، بوزن حوالى ١٥ جم تحتوى على ١٠ جم يود، وينظم هورمون الغدة الدرقية سرعة التمثيل الغذائى فى الجسم.

ويلعب هورمون الغدة دورا كبيرا فى نمو الإنسان، ويتعرض الأفراد المصابون بنقص الهورمون إلى الأمراض التى غالبا ما تكون عبارة عن البله والقصر والخمول.

وهورمـون الغـدة الدرقـيـة مـتـعدد الأنـواع، ويوجد مـنه ثلاثى أيودوثيـرونين Triiodothyronine ويرمز له بالرمز T3 والثيروكسين (Thyroxin) ويرمز له بالرمز T4، وكذلك تتـرادايو ثيرونين Titradio Thyronine ويرمـز له بالرمـز T5 والشكل التـالى يوضح ذلك.

شكل (٩) التركيب الكيميائى للثيروكسين

تضخم الغدة الدرقية:

يعتـبر تضخم الغدة الدرقـية من بين الأمراض التى تصيب الإنســان ويعرف باسم مرض الجويتر Goter، وقد يكون هذا التضخم متوسطا أو شديدا.

ويؤدى هذا التضخم إلى نقص فى إفـراز اليود من الغدة، لأن نقص اليود يؤدى

إلى نقص تركيز الهورمـون، وهذا يؤدى إلى تنبيه الغدة النخامية التى تسـاعد على تنبيه الغدة الدرقية وتزداد فى الحجم.

ونتيجة زيادة نشاط الغدة وزيادة حجمـها، يخرج اليود مع البول وتزداد نسبته فى الدم وتظهر أعراض المرض على الإنسان.

ولعلاج مـثل هذه الحالة يتم استئـصال جزء من الغـدة أو إزالتها كاملة ويتـعاطى الفرد بعد ذلك الهورمون فى صورة حقن أو حبوب مدة حياته كلها.

ويتراوح مستوى الهورمون فى الدم لدى الفرد العادى من ٤-١١ ميكرو جرام٪، كمـا يتمـيز كل من T3، T4 مع جلوبيـولين الدم Globulin ليكونا ثيـروجلوبيولين Thyroglobulin ليختـزن بالغدة الدرقية لحين احتـياج الجسم إليه فينقـسم مرة ثانية إلى T3، T4 فى الدم.

الثيروكسين والعمليات الحيوية بالجسم:

١- يزيد الثيروكـسين من سرعة التمثـيل الغذائى فى الجسم ما عدا الغـدة الدرقية نفسها.

٢- إذا أعطى بتركيزات فـسيولوجية عالية يعـمل على زيادة البناء البروتينى لخلايا أنسجة الجسم.

٣- إذا نقص يؤدى إلى القصر والضعف.

٤- يتحكم فى إنتاج الأنسولين.

٥- يعمل على زيادة امتصاص الجلوكوز في الأمعاء.

٦- يساعد على تحلل الجليكوجين إلى جلوكوز مما يزيد من نسبته فى الدم.

٧- زيادته تسـاعد على أكسـدة الأحمـاض الدهنية مما يزيد من نسـبة الأحـماض الكيتونية فى الدم والبول.

٨- يلعب دورا هاما فى تمثيل الماء بالجسم.

٩- له تأثير هام على الجهاز الدورى حيث يـعمل على زيادة معدل ضربات القلب والدفع القلبى فى الدقيقة.

١٠- يعمل على زيادة كمية الأكسجين المستهلك في الدقيقة.

١١- له تأثير هام على النمـو، ونقصه فى مراحل العـمر الأولى يؤدى إلى نقص فى حجم الجسم والطول ويؤدى إلى التخلف العـقلى، وتضخمها يؤدى إلى جحوظ العينين ونعومة الشعر.

١٢- زيادته تساعد على زيادة عـمليات الهدم وله دور كبـير على النشاط الإنزيمى بالجسم.

١٣- عندما يكون فى معدله الطبيعى يلعب دورا حيويا فى توازن النمو العضلى.

ومن المركبات المضـادة للثيروكسين (تيوثونات البوتاسـيوم) وهذه المادة تعمل على عدم تثبيت اليود غير العضوى فى الغدة.

٢- الهورمونات البروتينية Protein Hormones

أ- هورمون البنكرياس: Pancereas Hormone

البنكرياس غدة مستطيلة الشكل تقع أسفل المعدة بين الطحال والاثنى عشر (أعلى يسار البطن) ويفرز البنكرياس مجموعة كبيرة من الإنزيمات والهورمونات.

والهورمونات التى يفرزها البنكرياس هى:

١- الأنسولين Insulin ويفرز من الخلايا بيتا فى جزر لانجرهانز Langerhans.

٢- الجلوكاجون Glucagon ويفرز من الخلايا ألفا من نفس الجزر.

وهذين الهرمونين لهما دور بارز فى تمثيل الكربوهيدات.

تكوين الأنسولين:

يتكون من سلسلتين ببـتيـديتين ترتبطان برابطة ثنائيـة الكبريـت، ويفقـد أهميـته الفسـيولوجية بـالتحليل المائى أو بالهضم؛ لذلك لا يعطى عـن طريق الفم لمرضى البول السكرى.

إفراز الأنسولين:

ينظم إفراز الأنســولين بواسطة تركيز الـسكر فى الدم، فإذا زاد تركيـز السكر فإنه يسبب زيادة إفراز الأنسولين والعكس صحيح.

وتجدر الإشـارة إلى أن هورمون الجلوكاجـون يعمل مـضادا لهورمـون الأنسولين

وليس وحده ولكن باقى مجموعة الهورمونات بالجسم تعمل فى اتجاه معاكس لعمل الأنسولين.

الأنسولين والعمليات الحيوية بالجسم:

١- يعمل الأنسولين على زيادة تمثيل الجلوكوز بالدم.

٢- يزيد من مخزون الجليكوجين بالأنسجة العضلية.

٣- يزيد من انتقال الجلوكوز إلى خلايا الأنسجة العضلية.

٤- له تأثير مباشر على نشاط غشاء الخلايا.

٥- زيادة كمية الأنسولين تزيد من كمية الجلوكوز الداخلة للخلايا.

٦- يساعد الأنسولين على تخزين الدهون.

٧- نقص الأنسولين يزيد من تحول الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية.

٨- نقص الأنسولين يفقد الفرد الطاقة الحيوية نتيجة عدم استفادة الجسم من الجلوكوز.

٩- نقص الأنسولين يؤدى إلى فقد الفرد لوزنه الطبيعى.

١٠- يعمل الأنسولين على تخزين الدهون ويساعد على انتقالها للدم فى صورة أحماض دهنية حرة FFA.

١١- قد تصل زيادة الدهون إلى خمسة أضعاف معدلها الطبيعى.

١٢- يزداد كولسترول الدم كلما نقص الأنسولين.

١٣- قد يساعد ذلك على مرض تصلب الشرايين.

١٤- قد يعطى للأفراد النحاف بهدف زيادة الوزن.

أظهرت الدراسات العلمية التى تمت داخل وخارج جسم الإنسان أن هناك العديد من المثيرات التى تسبب إفراز البنكرياس للأنسولين، مثل زيادة تركيز الجلوكوز بالدم، هورمونات المعدة والأمعاء (جسترين، ساكرتين) هورمونات النمو (الثيروكسين)، هورمونات البنكرياس (جلوكاجون)، هورمونات الغدة الكظرية (كورتيزول - أدرينالين)، بعض الأحماض الأمينية مثل (الليوسين، الليسين، الأرجنين) العصب الباراسمبثاوى بينما هورمون الكيتوكولامين يمنع تحرر الأنسولين من البنكرياس.

ب- هورمون جارات الدرقية: Parathyroid Hormone

الغدد جارات أو مجاورات الغدة الدرقية يبلغ عددها أربع غدد، تقع على السطح العلوى للغدة الدرقية، وزنها جميعا يبلغ من ٠٥,٠ و ٣,٠٠ جرام.

ويستخلص الهورمون بالتحليل المائي الحمضى ويذوب فى الماء والكحول والمحلول الملحى ولا يذوب فى مذيبات الدهون.

كيف يعمل الهورمون:

يقلل من إعادة امتصاص الأنابيب الكلوية للفوسفات والكالسيوم غير العضوى، وبذلك يعمل على زيادة فقده فى البول مما يقلل من تركيزه في الدم، وهو أيضا يساعد على طرد الكالسيوم والفوسفور من العظم مما يؤدى إلى هشاشة العظام.

تنظيم إفراز الهورمون:

لا يوجد له منظم هورمونى ولكن يبدو أن تركيز الكالسيوم هو الذى ينظم إفراز الهورمون، فإذا انخفض تركيز الكالسيوم فى الدم فإنه ينشط إفراز الهورمون والعكس صحيح.

وهو يلعب دورا حيويا فى التمثيل الغذائى الحيوى للكالسيوم والفوسفور ويؤثر أيضا على كفاءة الجهاز العصبى.

الهورمون والعمليات الحيوية بالجسم:

١- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض إخراج الفوسفور فى البول.

٢- نقص إفرازه يؤدى إلى ارتفاع الفوسفور فى الدم.

٣- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض إخراج الكالسيوم فى البول.

٤- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض تركيز الكالسيوم فى الدم.

٥- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض تركيز الكالسيوم فى السائل الخلوى.

٦- نقص إفرازه يؤدى إلى زيادة الهياج العصبى العضلى مما يؤدى إلى التشنج والتقلص العضلى.

٧- نقص إفرازه يؤدى إلى ضعف النمو الطبيعى للجسم وضعف القوة العضلية.

٨- زيادة النقص تؤدى إلى تكوين أنسجة مخاطية تحت الجلد.

٩- زيادة إفراز الهورمون تؤدى إلى تضخم الغدة وجحوظ العينين.

١٠- زيادة إفراز الهورمون تؤدى إلى زيادة سرعة ضربات القلب وعدم انتظام الدفع القلبى.

جـ- هورمون الجهاز الهضمى Digestive Hormone:

توجد هورمونات الجهاز الهضمى فى الغشاء المخاطى المبطن للأمعاء والمعدة وتنظم هذه الهورمونات إفراز الغدد الهضمية وهذه الهورمونات هى:

١- السكريتين: Secretin

هورمون معوى يحث البنكرياس والكبد على الإفراز نتيجة التأثير الملحى للصفراء والأحماض الدهنية في الجزء العلوى من الأمعاء وهو يعمل على تنظيم إفراز البنكرياس.

٢- سيستوكيتين: Cystokitin

هورمون معوى يفرز نتيجة التنبيه بواسطة الأحماض الدهنية ويؤدى إلى إخراج محتويات الحويصلة الصفراوية وهو غير فعال بواسطة إنزيم يوجد بالدم.

٣- بنكرياتين: Pancreatin

هورمون يفرز من خمائر العصارة المعوية وهو ينشط البنكرياس لإفراز الإنزيمات مثل إنزيم الأميلاز والليباز.

٤- إنتروجاسترون: Entrogastron

يفرز من المعدة وهو يعمل على تنشيط التحركات الذاتية للمعدة ويمنع أو يثبط حموضة المعدة.

٥- جاسترين: Gastrin

يتكون بواسطة الغشاء المخاطى لفتحة البواب بالمعدة نتيجة تمدد المعدة عند امتلائها بالطعام، وعندما يصل هذا الهورمون إلى مجرى الدم فإنه يستحث إفراز حمض الهيدروكلوريك، ومن المعتقد أن له أهمية فى إفراز العصارة المعدية.

د- هورمونات الغدة النخامية: Pituitary Hormones

الغدة النخامية عبارة عن جزء صغير لا يزيد حجمه عن سلامية إصبع البنصر، وتقع عند قاعدة الجمجمة، ولها وظائف متعددة وتنقسم إلى ثلاثة فصوص. أهمها الفص الأمامى الذى يفرز هورمونات تتحكم فى إفراز ونشاط باقى الغدد الصماء.

أ- هورمونات الفص الأمامى Anterior Hormone

إذا حدث وأزيل الفص الأمامى من الغدة النخامية يتوقف نشاط إفراز الغدة الدرقية وقشرة الغدة الكظرية والغدد التناسلية ويفقد الإنسان وزنه ويتوقف نموه الطولى، ويحدث انخفاض فى التمثيل الغذائى.

ويفرز الفص الأمامى الهورمونات التالية:

١ - هورمون الثيروتروفين: Thyrotrophin Horomon

وهو الهورمون الذى ينظم إفراز الغدة الدرقية، ونقصه يسبب ضمورها وبالتالى لا تؤدى وظائفها الطبيعية، أما فى حالة زيادة الهورمون فإن الغدة الدرقية تزداد فى الطول وتتضخم وتزيد إفرازاتها.

٢- هورمون الأدينو تيكوتروفين Adenoticotrophin. H.

وهو من البروتينات التى أمكن معرفة نوع الأحماض الأمينية المكونة لها، وأمكن الحصول منها بالتحليل المائى الجزيئى على ببتيدات احتفظت بنشاط الهورمون.

ونقص هذا الهورمون يسبب ضمورا فى القشرة الكظرية مما يؤدى إلى نقص فى إفرازاتها بدرجة تجعلها غير كافية لحاجة الجسم.

٣- هورمون جونادوتروفين Gonadotrophin .H.

ويعرف بالهورمون التناسلى وفى حالة نقصه تضمر الخصية لدى الذكر، ويضمر المبيض لدى الأنثى. وإذا نقص الهورمون فى الأطفال قبل وصولهم سن البلوغ لا يكتمل لديهم نمو الجهاز التناسلى.

ويوجد هذا الهورمون على صورتين:

الأول: الهورمـون المسئـول عن نشاط نمو الأجهـزة التناسلية لدى الـذكر والأنثى ويسمى .Folicle Stimulation.H حـيث إنه يساعـد على إفـراز الحيـوانات المنوية من الخصية وإفرازات المبيض ونمو البويضة فى الأنثى.

الثانى: الهورمون المسئول عن نشاط إفراز الهورمونات الجنسية من الخصية ويسمى .Luteinzing.H وينشط هورمون البروجسترون، وكـذلك نمو الجسم الأصغر فى مبيض الأنثى، كما يتابع هذا الهورمون نضج البويضة ونموها بعد إخصابها.

٤- هورمون النمو Growth Horomon

وهو المسئول عن عـمليات النمو، أى أن نقصه يسـبب نقص النمو، وهو السبب فى الإنسان القزم، كما أن زيادة إفرازه يؤدى إلى الإنسان العملاق.

ب- هورمونات الفص الخلفى: Posterior Horomon

يفرز الفص الخلفى ثلاثة من الهورمونات الببتيدية العديدة وهى:

الأول: (بتريسين .Petrisine .H) ويعمل عـلى ارتفاع ضغط الدم وينـظم سوائل الجسم ونقصه يؤدى إلى زيادة فى إدرار البول.

الثانى: (بيتوسين .Pitosine . H) ويعمل على انقباض وتقلص الرحم وهو يساعد النساء الحوامل واللاتى فى حالة الوضع من إتمام الوضع (مسرع للولادة).

الثالث: (ADH) ويسمى هورمون مضاد التبـول، وارتفاعه يحافظ على ماء الجسم للإبقاء على ثبات حجم البلازما.

جـ- هورمونات الفص المتوسط Medium Hormon

وهو المسئول عن إدرار اللبن لدى النساء عقب عمليـة الوضع، ويستمر فى عملية إدرار اللبن لدى الأم المرضع ويتوقف نشاطه عقب الحمل.

٣- الهورمونات الستيرويدية Sreroid Hormones

تشـتـمل الهـورمونـات السترويدية علـى إفرازات غـدة قـشـرة الغـدة الكظرية وهورمونات الجنس التى تفرز من الخصية فى الذكر والمبيض فى الأنثى.

أ- هورمون قشرة الغدة الكظرية Adrenal Cortex. H.

تفرز قشـرة الغدة الكظرية عددا من الهورمونات الضـرورية للحياة، ويطلق على إفرازات هذه القشرة تعبير Cortun ويبلغ عدد هذه الهورمـونات حوالى ٣٠ هورمون، وتمكن العلمـاء من التـعرف عـلى خواص كل منهـا، ويتـأثر جـسم الإنسان بالـفاعليـة الهورمونية لهذه الهورمونات وخاصة هورمون الكورتيزول (Cortisol) الذى يبلغ معدل إفرازه فى الجسم صـباحا من ٥-٢٥ ميكروجرام / ١٠٠ ملليـلتر دم، وينخفض فى المساء ليصل إلى ٢-١٢ ميكروجرام / ١٠٠ ملليلتر دم.

الكورتيزول والعمليات الحيوية بالجسم:

١- ينظم تكوين الجليكوجين بالجسم.
٢- يزيد من الإنزيمات التى تساعد على تحويل الأحماض الأمينية إلى جلوكوز.
٣- يزيد من تركيز الجلوكوز فى الدم.
٤- تنظيم توزيع الصوديوم والبوتاسيوم فى الجسم.
٥- نقص الهورمون يؤدى إلى فقد الصوديوم والبوتاسيوم مما يؤدى إلى زيادة فقد الماء من الكليتين.
٦- يخفف من الإحـساس بالألم فى حالة تعـاطيه فى صورة حـقن لعلاج بعض الأمراض.

ب- الهورمونات الجنسية Sex Horomones

هى الهورمونات التى تفرزها الخصية لدى الذكر والمبيضين لدى الأنثى.

- هورمونات الذكر: Male Horomones

تفرز هذه الهورمونات من الخصيتين، وخاصة الحيوانات المنوية Sperms، وتعمل هذه الهورمونات على أن تقـوم الأعضاء التناسلية فى الذكر بوظائفهـا، حيث تعمل على حفظ الصفات الأولية الجنسية Primary Sexual مثل تكوين الحيوانات المنوية Sperms والمحافظة عليها وعلى ظهور الصفات الثانوية للجنس مثل ظهور الشعر وخشونة الصوت عند سن البلوغ.

ومن بين هورمونات الذكورة ما يأتى:

- **التستوسترون: Testosteron**

وهو أقوى هورمونات الـذكورة، ويتكون فى الخصية عن طريق تـنشيط هورمون الفص الأمامى للغدة النخامية TCSH وتخرج هذه الهورمونات فى صورة (جليكوزيزات Glycosisat) وكبريتات، ويعمل هورمون التستوسترون على نمو العضلات والعظام لدى الذكور.

- **هورمونات الأنثى: Female Horomones**

تفرز هورمونات الأنثى من المبـيض حيث إنه الغدة الرئيسيـة التناسلية للأنثى عند البلوغ، حيث تقوم الغدة النخـامية بفصها الأمامى بإفراز هذه الهـورمونات والتى تساعد على نضج المبيض، ويعتبـر هورمون الإستروجين Estrogin والبروجسترون Progeste-ron، وهورمون الاستراديول أهم الهورمونات الأنثوية.

- **هورمون الإستروجين Estrogin Horomone**
- **هورمون البروجسترون Progesteron Hormone**

يفرزان من الجسم الأصـفر فى المبيض، ويعملان على مسـاعدة الأنثى فى ظهور الصفـات الأنثوية عند سن البلوغ، ويتـأثران بإفرازات الفص الأمامـى للغدة النخامـية، ويعمـلان أيضا على تنظيم دورة الطمث لدى الأنثى، كـذلك يساعد الإسـتروجين على ترسيب الدهون وتوزيعها فى جسم الفتاة.

الاستجابات الهورمونية للتدريب البدنى:

Hormones Responses To Exercise

يعمل التدريب البدنى على زيادة إطلاق الطاقـة اللازمة للنشاط البدنى الذى يقوم به الفرد، وذلك للوفاء باحـتياجات العضـلات الإرادية نتيجة انقبـاض تلك العضلات، وتحتاج معظم أجهزة الجسم إلى تلك الطاقة خاصة الجهاز العصبى.

وتسمى الهورمونات التى تقوم بعملية تعـبئة الطاقة أثناء النشاط البدنى بهورمونات الضغط Stress Hormones، وتشتـمل على هورمونات الكاتيكولامين والجلوكـاجون والكورتيزول وغيرها وتسمى أيضا هورمونات التضاد لتأثير الأنسولين.

وتنقسم الاستجابات إلى ثلاثة أنواع:

استجابات سريعة : Fast Responses

مثل الزيادة السريعة فى تركيز هورمون كاتيكولامين والزيادة فى تركيز الكورتيزول (والأنسولين) وتتم هذه الاستجابات فى بداية المجهود العضلى.

استجابات معتدلة Responses of Modest Rat

وذلك مثل ارتفاع مستوى تركيز الثيروكسين وهورمون النمو وهورمون مضاد الإبالة (ADH) «التبول».

استجابات متأخرة Responses Delayed

وذلك مثل ارتفاع مستوى تركيز هورمون الدوستيرون وتستوسترون وسوماتتروبين وكلستيونين، وتشير نتائج معظم الدراسات إلى أن الاستجابات الهورمونية تعتمد على شدة ودوام التدريب البدنى المستخدم، فالاستجابات السريعة تكون أكثر حساسية لشدة التدريب، بينما الاستجابات المتأخرة تعتمد على فترة دوام التدريب بصورة أكبر من شدته. مثال ذلك: استجابة هورمون الكورتيزول للمجهود البدنى الذى يعادل من ٥٠-٧٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، لذلك فإن دوام التدريب لفترة أطول يسبب زيادة فى مستوى الكورتيزول حتى لو كانت شدته متوسطة.

جدول (٦) الاستجابات الهورمونية للتدريب البدنى

الهورمون	نوع الاستجابة	التأثير	النتيجة
كاتيكولامين	سريعة	ارتفاع	زيادة جلكوز الدم
الكورتيزول	سريعة	ارتفاع	تكوين جليكوجين فى الكبد
الإنسولين	سريعة	انخفاض	خفض استهلاك الجلوكوز
هورمون النمو	معتدلة	ارتفاع	المحافظة على جلوكوز الدم ونمو العضلات
الثيروكسين	معتدلة	ارتفاع	زيادة إنتاج الطاقة
هورمون مضاد الإبالة	معتدلة	ارتفاع	الحفاظ على الصوديوم لثبات حجم البلازما
تستوسترون	متأخرة	ارتفاع	نمو العضلات وتطورها
سوماتتروبين	متأخرة	ارتفاع	نمو العظام
كلسيتونين	متأخرة	ارتفاع	نمو العظام

ولقد عكست البحوث والدراسات التى أجريت فى هذا المجال عن مدى ما يستأثر به جهاز الغدد الصماء من اهتمام الباحثين، وبخاصة فى مجال الكشف عن تأثير الجهد البدنى على التركيز الهورمونى فى الدم، وفى هذا الصدد توصل الباحثون إلى نتائج مختلفة حيث انتهى كل من «شيفرد Shephard ١٩٧١»، «فيو Few ١٩٧٤»، «جبريلا ومارجرتيف Gabriella and Margurtif ١٩٧٥» إلى وجود علاقة ارتباط طردى بين درجة تركيز الكورتيزول فى الدم والجهد البدنى بأنواعه المختلفة، بينما أظهرت نتائج «بونين Bonen ١٩٧٦» عدم وجود زيادة فى تركيز الكورتيزول عند استخدام الشدة المتوسطة.

كما أشارت نتائج «كاراليس وآخرين Caralis, etal ١٩٧٧» إلى انخفاض دال فى تركيز T3 عند الجهد البدنى مرتفع الشدة، هذا فى الوقت الذى أثبت فيه «روفسوم Rofsume ١٩٧٩»، «ميتفر Metivier ١٩٨١» حدوث زيادة دالة فى تركيز ثلاثى أيودو ثيرونين T3 عند الجهد البدنى مرتفع الشدة.

كما تشير نتائج «كارل وآخرين Carl, et al ١٩٨٣» إلى أن تركيز هورمون الكورتيزول فى الدم والبول يزداد عند استخدام الجهد البدنى عالى الشدة. كما أوضحت نتائج «محمد على ١٩٨٧» عدم وجود زيادة دالة بعد الجهد البدنى منخفض الشدة أو متوسط الشدة.

ومن البدهى أن تكون قد بذلت محاولات سابقة لدراسة تأثير أنواع الجهد البدنى على تركيز الهورمونات فى الدم، نعرض بعضا منها:

* فى دراسة أجراها «شيفرد Shephard ١٩٧١» تبين أن التمرين البدنى الخفيف والمتوسط الشدة ليس له تأثير ثابت على مستوى الكورتيزول، بينما يؤدى التمرين البدنى الشديد ذو فترة الدوام الطويلة أو المرتبط بضغط المنافسات إلى زيادة فى مستوى الكورتيزول بالدم.

* هذا فى الوقت الذى أشار فيه «بونين Bonen ١٩٧٦» إلى أنه من الصعب تحديد الحد الأدنى لشدة التمرين التى عندها تحدث زيادة فى مستوى الكورتيزول ولكن وجد أن معدل إفراز الكورتيزول فى البول يرتبط ارتباطا طرديا مع الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، وقد استخدم أنواعا مختلفة من الشدة فى دراسته لمعرفة تأثيرها

على مقـدار الكورتيزول فى الدم وبـلغت نسبتـه بين ١٢ ,١٧-١٦ ,١٨٪ عند ٨٠٪ من الحد الأقصى لاستهـلاك الأكسجين، كما أظهرت نتائج دراسته عـدم وجود أى تغيير فى تركيز الكورتيزول عند اسـتخدام الحمل البدنى الخفيف، ويضـيـف أن تركيز الكورتيزول يصل إلى أعلى مقدار له عند أداء تمرين بدنى شديد ومستمر لفترة من ١٠-٣٠ دقيقة.

وتشيـر نتائج رضوان محـمد رضـوان ١٩٨٥ إلى وجود زيادة معنوية فى تركـيز هورمون الثيروكسين T4 لدى الرياضيين عنها فى غير الرياضيين أثناء الراحة، كما حدثت زيادة دالة معنويا فى تركيز هورمون T3, T4 بعد الجهد البدنى.

وأظهرت نتائج محمد على أحمد ١٩٨٧ أن هورمون الكورتيزول يزداد معنويا بعد الجهد البدنى مرتفع الشدة، فى حين أن الجهـد البدنى خفيف الشدة لم يؤد إلى تغيرات فى تركيز الكورتيزول بالدم.

وتشيـر نتائج ممدوح حسين ١٩٨٨ أنه توجـد فروق ذات دلالة معنوية فى تركـيز هورمونى T3, T4 عقب أداء التمرينات الهوائية والتـمرينات اللاهوائية، كما أن هورمون الكورتيزول يزداد زيادة دالة معنويا عـقب أداء التمرينات الهوائية بنسـبة قدرها ٧٠٪ فى حين بلغت الزيادة بعد أداء التمرينات اللاهوائية ١٠ . ١٥١٪.

وتشير نتائج بهاء سلامة ١٩٩١ إلى:

(١) حدثت زيادة دالة معنويا فى تركـيز هورمون الكورتيزول عند الراحة ونتـيجة العمل البـدنى الهوائى وعند الراحة ونتـيجة العمل البـدنى اللاهوائى حيث بلغت نسبة الزيادة نتيجـة العمل البدنى الهوائى ٣٣ و ٤٩٪ فى حين ارتفعت الزيادة نتيجة العمل البدنى اللاهوائى لتصبح ٤٧ و ١٨١٪.

(٢) حدثت زيادة دالة مـعنويا فى تركيـز هورمون T3 عند الراحة ونتيـجة العمل البدنى الهـوائى وعند الراحة ونتـيجة الـعمل البدنى اللاهوائى حـيث بلغت نسبة الزيادة نتيـجة العمل البدنى الهوائى ٤٠ و ٣١٪، ثم انخفـضت نتيجة العمل البدنى اللاهوائى حيث بلغت ٨٨ و ١٠٪.

(٣) حدثت زيادة دالة مـعنويا فى تركيـز هورمون T4 عند الراحة ونتيـجة العمل البدنى الهـوائى والعمل البـدنى اللاهوائى حيث بلغت نسـبة الزيادة نتيـجة

العمل البدنى الهوائى ٣٣ و ٣٦٪ ثم انخفضت نتيجة العمل البدنى اللاهوائى لتصبح ٥٧ و ١٣٪.

من نتائج تلك الدراسات يتبين أن هناك اختلافات فى بعض النتائج حيث تشير بعض نتائج الدراسات إلى زيادة فى تركيز الكورتيزول بعد الجهد البدنى الخفيف أو المتوسط الشدة، بينما بعض النتائج تشير إلى نقص تركيز الكورتيزول مع نفس الشدة السابقة، ونتائج أخرى تشير إلى عدم وجود تغيرات، ومع ذلك فهناك شبه اتفاق بين معظم النتائج على أن تركيز الكورتيزول فى الدم يزيد فى حالة استخدام الجهد البدنى الشديد ذى فترة الدوام الطويلة.



الفصل السادس

الوظائف الحيوية للإنزيمات



- مقدمة
- تقسيم الإنزيمات
- المؤكسدة
- الناقلة
- المحللة
- النازعة
- المحولة
- الرابطة
- المرافقات الإنزيمية والمجموعات المرتبطة
- الإنزيمات المساعدة الناقلة للهيدروجين
- الإنيزيمات المساعدة الناقلة لمجموعة تحتوى على ذرة كربون
- الإنزيمات المساعدة الناقلة للأسيل
- الإنزيمات المساعدة الناقلة للفوسفات
- المجموعات المرتبطة
- مجموعة الفلافين
- فوسفات البيريدوكسيل
- ثيامين بيروفوسفات
- الإنزيمات الهضمية

* * *

الإنزيمات Enzymes

المقدمة:

تعرف الإنزيمات بأنها تلك المـواد البروتينية ذات الخاصيـة المنفردة والتي توجد فى صورة أو حالة غروية وتقوم بدور العامل المساعد فـى جميع التفاعلات الحيوية التى تتم داخل جسم الإنسان.

ويلاحظ على سبيل المثال أن أكسدة الأحـماض الدهنية خارج جسم الإنسان (فى أنبوبة اختبـار) تحتاج إلى حموضة وحرارة مرتفـعة، وكذلك تحتاج إلى عوامل كيـميائية مساعدة.

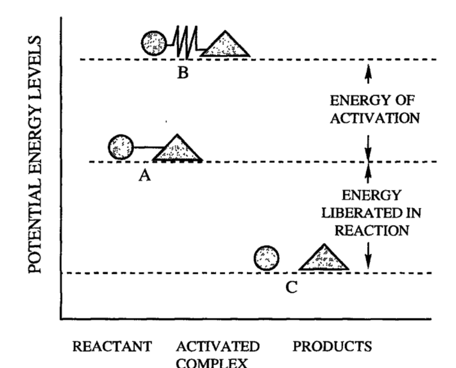
أما فى جسم الإنسان، ولكى تتم نفس هذه التفـاعلات وبنفس السرعة، كان لابد من وجود مجموعة من العوامل المساعدة والتى تعرف بالإنزيمات.

ويلاحظ أيضا أن سكر اللكتوز، لا يتحلل عند درجة حرارة الجسم إلا إذا أضيف إليه إنزيم خاص يسمى إنزيم اللاكـتيز حيث يتحلل بسرعة كـبيرة إلى السكريات الأحادية (جلوكوز + فركتوز).

Lactose + Lactis → Glucose + Fractose

وتقوم الأحماض بنفس عمليات التحلل ولكن بسرعة أقل كثيرا من الإنزيمات.

ويمكن فهم دور العوامل المساعدة (الإنزيمات) فى التـفاعلات المختلفة من الشكل التالى:



شكل (١٠) الإنزيمات كعوامل مساعدة فى التفاعلات

يمثل حرف A جزىء مادة متفاعلة، تعطى فى نهاية التفاعل الناتج C. ويتضح من الشكل أن مستوى الطاقة الحرة للمادة المتفاعلة أكبر من مستوى الطاقة الحرة لنواتج التفاعل.

وهذا يشير إلى أن هذا التفاعل يصاحبه انطلاق كمية كبيرة من الطاقة نتيجة انشقاق الرابطة فى الجزىء A.

ولكى يتم هذا التحول، يتحول أولا الجزىء A إلى الجزىء النشط B الذى يحتوى على مستوى من الطاقة أكبر من A، مما يشير إلى أن الجزىء A يكتسب كمية من الطاقة تعرف بطاقة التنشيط، وليتم هذا التحول ويصل إلى الحالة النشطة التى عندها تتجزأ إلى النواتجC.

وعند إضافة أى عامل مساعد على هذا التفاعل فإنه يعمل على سرعة وصول المركب A إلى الصورة النشطة B ؛ نظرا لأنه يعمل على تخفيض الطاقة اللازمة لهذا التحول.

ويتضح من الشكل أيضا أنه من المـمكن أن ترتبط نواتج التفاعل C وتعيد تكوين المادة المتفاعلة A ، ولكن يلزم لذلك أن تكتـسب الجزيئـات C نفس الكميـة من الطاقة المنطلقة فى التـفاعل الأول بالإضافة إلى الطاقـة اللازمة لعملية التنشـيط، ولكن معدل سرعة هذا التـفاعل تكون أقل منها فى التفاعل الأصلى، حـتى يصل التفاعل إلى نقطة الاتزان التى تكون عندها نسبة المواد الناتجة عن التفاعل أكبر من المواد المتفاعلة.

ولا تؤثر العـوامل المساعـدة على نقطة الاتزان، حـيث إنهـا تؤثر بالتسـاوى على تحويل كل من المواد المتفـاعلة والمواد الناتجة إلى الصورة النشطة B ، ولكنها تعمل فقط على سرعة الوصول إلى هذا الاتزان، أى أنها تعـمل على خفض طاقة التنشيط اللازمة للتفاعل.

والإنزيمات مواد بروتينية حيث وجد بـالتحليل المائى أنها تتكون من نفس العناصر المكونة للبروتين وبنفس النسب.

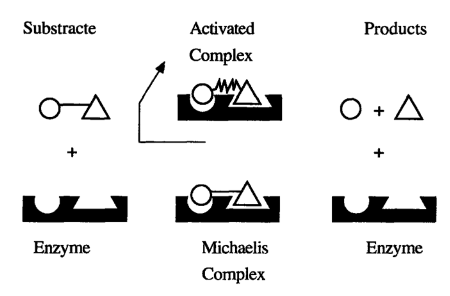
كـذلك وجد أنهـا ترسب بمرسـبـات البروتين المخـتلفـة مثـل الكحولات المركـزة والأملاح والأحماض.

كما أظهرت الإنزيمات جميع الخصائص العامة للبروتينات ومنها تغيير طبيعة الإنزيم بتغير الحمـوضة أو الوسط الذى يعيش فيه وكذلك بارتفاع درجـة الحرارة مما يجعلها فى حالة عديمة النشاط وبالتالى تفقد القدرة على إتمام التفاعلات الحيوية.

كما تنسب بعض الإنزيمات إلى البروتينات البسيطة (Simple Protein) التى تعطى بالتحليل المائى أحماضا أمينية (Amino Acids).

بينمـا ينسب البـعض الآخر إلى البـروتينات المرتبطة أو المزدوجـة (Conjugated Proteins) حيث ترتبط بمجاميع أخرى غير بروتينية تسمى المجموعات المرتبطة.

وقد وجـد فى جميع التـفاعلات التى تسـاهم فيهـا العوامل المساعـدة أنه يحدث ارتباط غير دائم بين المادة المتفاعلة والعـامل المساعد، وأوضحت الدلائل على أنه يحدث نفس الارتباط فى حالة التفاعلات الإنزيمية.



شكل (١١) المراكز النشطة على سطح الإنزيم

يتضح من الشكل السابق أنه يوجد علـى سطح الإنزيم (البروتين) مـراكز نشطة مناسبة للمادة المتـفاعلة، وحينئذ تنشط الرابطة في المادة المتفـاعلة لدرجة الانشقاق، ثم تنطلق نواتج الـتـفاعـل فى المحلول (وسط التـفـاعل) Michaelis اسم العـالم الذى اخترعه.

وينفرد مرة أخرى جزىء الإنزيم دون حدوث أى تغـيير، وفى هذه الحالة يستطيع الجزئ الواحد من الإنزيم تحويل العديد من جزيئات المادة المتفاعلة.

ومن أهم الخصائص التى تميز الإنزيمات عن غيـرها من العوامل المساعدة أنها على درجة كبيرة من التخصص.

كمـا أظهرت الإنزيمات تخـصصا دقـيقا تجـاه الترتيب الفـراغى للمواد المتـفاعلة، ويعزى هذا التخصص الدقيق للإنزيمات أساسا إلى طبيـعة المجاميع الكيميائية التى توجد فى مراكز التفـاعل (المراكز النشطة) على سطح الإنزيم وترتيب هذه المجاميع الكيـميائية وطبيعة الشحنة الإلكترونية التى تحملها.

تقسيم الإنزيمات: Classification of Ezyme

تنقسم الإنزيمات إلى ستة مجموعات Classes وذلك تبعا لنوع التفاعل الذى تقوم به.

ثم تنقسم إلى ٣٢ مجـموعة أخرى **Subclasses** حسب نوع الرابطـة التى تعمل على كسرها أو تكوينها أو حسب نوع المجموعة الكيـميائية التى تقوم بإزالتها أو نقلها من مركب لآخر.

المجموعات الرئيسية الستة للإنزيمات:

١- المؤكسدة Oxidation

٢- الناقلة Transference

٣- المحللة Hydrolysis

٤- النازعة Lysis

٥- المحولة Isomeric

٦- الرابطة Synthesis

١- المؤكسدة: Oxidation

هى الإنزيمات التى تقوم بدور العامـل المساعد فى تفاعلات الأكسـدة والاختزال، وبالرغم من أن هذا النوع من التفاعـلات يشمل نقل كل من الهيدروجين **Hydrogen**، Electeron إلا أنها لا تصنف مع الإنزيمات الناقلة.

٢-الناقلة: Transference

هى الإنزيمات التى تقوم بدور العامل المساعد فى نقل مجموعات كيميائية لا توجد فى الصورة الحـرة من مركب إلى آخـر وتقسـيم هذه المجموعـة من الإنزيمات يرجع إلى طبيعة المجموعة الكيميائية التى يتم نقلها.

٣- المحللة: Hydrolysis

هى الإنزيمات التى تقوم بدور العـامل المساعد فى تفاعلات التـحلل المائى بإضافة جزىء ماء خلال الروابط المختلفة فى المركبات المختلفة.

٤- النازعة: Lysis

تقوم بدور العـامل المساعد فى نزع مـجموعـة كيمـيائية من المادة المتـفاعلة بدون

حدوث تحلل مائى أو أكسدة أو اختـزال، وتختلف عن مجموعة الإنزيمات الناقلة فى أن هذه المجاميع الكيميائية لا تنتقل مباشرة إلى مركب آخر.

٥- المحولة: Isomeric

وهى التى تقوم بدور العامل المساعد فـى إعادة الترتيب الداخلى فى المركبات، أى تحويل مشابه إلى آخر دون حدوث تغيير فى التركيب الأولى للمركب.

٦- الرابطة: Synthesis

تقوم بدور العامل المـساعد فى عمليات التـخليق، أى ربط جزءين معا باسـتخدام الطاقـة الناتجة عن تحلل رابطة بيـروفوسـفاتيـة من المركب أدينوزين ثلاثى الفـوسـفـات (A T P).



المرافقات الإنزيمية والمجموعات المرتبطة:

Coenzymes and Prothetic Groups:

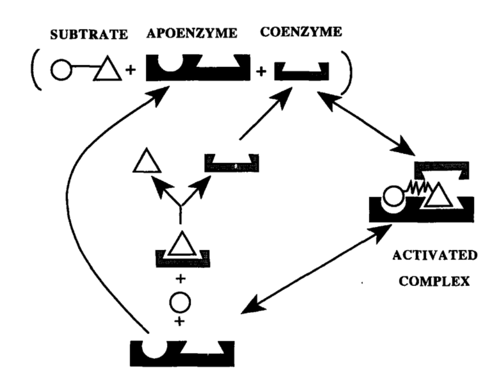
تحتاج عديد من الإنزيمات لإتمام وظائفها الحيوية إلى وجود مركبات عضوية غير قابلة للتحلل، هذه المركبات قد تكون مرتبطة تماما ببروتين الإنزيم فتسمى المجموعات المرتبطة Prothetic group ، وإذا كان ارتباطها بالإنزيم غير ثابت فتسمى المرافقات الإنزيمية Coenzymes .

كما أن بعض الكوإنزيم توجد على الحالة الحرة تماما فى وسط التفاعل ولا ترتبط ببروتين الإنزيم إلا عند بداية التفاعل.

ويطلق اصطلاح Apoenzyme على الجزء البروتينى للإنزيم البعيد عن التفاعل الإنزيمى.

ويطلق اصطلاح Holoenzyme على الجزء البروتينى للإنزيم المنشق أو البعيد عن التفاعل الإنزيمى.

وترجع الوظيفة الحيوية للكوإنزيم إلى أنها تساعد على تكسير المادة المتفاعلة حيث تعمل كمستقبل لإحدى نواتج التكسير، ولا ترتبط المادة المتفاعلة مع الإنزيم لتصبح فى حالة معينة من النشاط إلا في وُجود الكوإنزيم؛ فيتم تكسير المجموعة المراد نزعها من المادة، وحينئذ تنتقل نواتج التكسير وترتبط بالكوإنزيم الذى يكون مناسبا لها فى تركيبه الكيميائى، ثم تنتقل هذه الجزيئات إلى نظام إنزيمى آخر حيث تضاف إلى مادة أخرى ويتجدد نشاط الكوإنزيم وليكون كل من الإنزيم والكوإنزيم قادرا على نفس الدورة مرة أخرى.



شكل (١٢) المرافقات الإنزيمية والمجموعات المرتبطة

يتضح من الشكل أن المجـموعات المرتبطة تعـمل بأسلوب مشابه لما سـبق ذكره، والاختلاف الوحيد فـيها هو أن المجموعة المرتبطة والمستقـبلة لجزيئات المادة تظل مرتبطة ببروتين الإنزيم.

وعديد من الـكوإنزيمات والمجموعـات المرتبطة تنسب فى تركـيبهـا الكيمـيائى إلى النكلوتيدات، كما أن بعضها وخاصة التى تساهم فى تفاعلات الأكسدة البيولوجية تحتوى على إحدى أفراد مجموعة ڤيتامين B فى تركيبها.



الإنزيمات المساعدة الناقلة للهيدروجين: Hydrogen Lysis Coenzymes

أ- نيكوتيناميد أدينين داى نكليوتيد: Nicotinamide Adinine Dinucleotide

وهو عبارة عن نكليوتيد ثنائى أحدهما أدينوزين أحادى الفوسفات (Adinosin 1 Phosphat) ويرتبط عن طريق وحدة الفوسفات مع فوسفات النكليوتيد الآخر (Nucleotide) المكون من أميد حمض النيكوتينك (Necotinic) أحد أفراد مجموعة فيتامين B الذي يرتبط مع سكر الريبوز (Ribose) والذى يرتبط بدوره مع حمض الفوسفوريك.

ب- نيكوتيناميد أدينين داى نكليوتيد فوسفات:

Nicotinamid Adinin Di Nucdeorede Phosphat (N A D P):

وهو يحتوى بجانب التركيب الكيميائى لكوإنزيم (Coenzymes) على بقايا مجموعة فوسفات عند ذرة الكربون رقم ٢ للسكر المرتبط بالأدينين (Adinin)، ويوجد كل من Co 1 ، CO 2 فى أنسجة الحيوان، وتعمل كمرافقات إنزيمية لعديد من الإنزيمات التى تقوم بدور العامل المساعد فى تفاعلات الأكسدة والاختزال (dehydrogenases).

وتتم الأكسدة والاختزال على حلقة البيريدين فى النيكوتيناميد حيث يمكن أن تنزع ذرتين هيدروجين من المادة المتفاعلة ثم تنقلهما إلى مادة أخرى.

الإنزيمات المساعدة الناقلة لمجموعة تحتوى على ذرة كربون واحدة:

يتم انتقال المجموعات التى تحتوى على ذرة كربون واحدة مثل مجموعة الفورميل CHO (Formyl)، والميثيل CH3 ، والهيدروكسى ميثيل CH2 OH ، بواسطة مشتقات حمض الفوليك وهى الصورة المختزلة للفوليك.

الإنزيمات المساعدة الناقلة للأسيل:

وتلعب هذه المجموعة من الكوانزيمات دورا هاما فى ميتابولزم الدهون والكربوهيدرات، ومن أهمها الكوانزيمات التى تحتوى على مجموعة سلفهيد.

ومجموعة السلفهيد هى الفعالة فسيولوجيا، حيث تنتقل إليها مجموعة الأسيل النشطة لتتكون فى النهاية مجموعات السلاسل الكربونية.

الإنزيمات المساعدة الناقلة للفوسفات:

هى مجموعة من الكوانزيمات تدخل فى تفاعلات نقل الطاقة من مركب لآخر، وهى عبارة عن نيكليوتيدات ثنائية الفوسفات مثل أدنيوزين داى فوسفات (ADP)، جوانزين داى فوسفات (GDP)، يوريدين داى فوسفات (UDP).

وتقوم إنزيمات الكينيز (Kinases) بدور العامل المساعد فى نقل الفوسفات إلى النيكلوتيدات ثنائية الفوسفات.

وتعمل أيضا بعض النكليوتيدات ثنائية الفوسفات فى نقل مجموعة الجليوكسيل (glycosyl) مثل يوريدين داى فوسفات جلوكوز (Uridin Diphosphat) الذى يقوم بنقل الجلوكوز إلى الفركتوز لتخليق السكروز، كذلك يشترك فى تحويل الجلكتوز إلى جلوكوز (Glactose $\rightarrow$ Glucose).

المجموعات المرتبطة: Prothetic Groups

١- مجموعة الفلافين:

وهى عبارة عن مشتقات فوسفاتية للريبوفلافين B2 وهى تنقسم إلى:

أ- مجموعة مرتبطة مع وحدة فلافين مع سكر الريبوتول والذى يرتبط بدوره مع حمض الفوسفوريك.

ب- مجموعة مرتبطة مع الريبوفلافين فوسفات ويتكون عنها فلافين أدينين داى نكليوتيد (FAD) وهى ترتبط من خلال مجموعة الفوسفات.

ويعمل كل من FMN و FAD كمجموعة مرتبطة لمجموعة من الإنزيمات تسمى فلافوبوتين إنزيم (Flavopotein Enzymes) والتى تقوم بدور العامل المساعد فى تفاعلات الأكسدة والاختزال.

وتتم الأكسدة والاختزال فى المجموعات المرتبطة التى تحتوى على الريبوفلافين فى جزىء الفلافين باستقبال ذرتى هيدروجين، حيث يتم نقل ذرات الهيدروجين فيما بعد إلى نظام آخر فى سلسلة تفاعلات الأكسدة والاختزال.

٢- فوسفات البيريدوكسول: Pyridoxol Phosphat

وهو المشتق الفوسفاتى لفيتامين B6، وتدخل مركبات البيريدوكسول فوسفات كمجموعة مرتبطة لعديد من الإنزيمات الخاصة بتمثيل الأحماض الأمينية Amino acid وهى نقل مجموعة الأمين ونزع مجموعة الكربوكسيل.

٣- فيامين بيروفوسفات: Thiamine Pyrophosphat

ويعمل كمجموعة مرتبطة للإنزيمات التى تقوم بدور العامل المساعد فى تفاعلات إضافة أو نزع مجموعة الكربوكسيل Carboxylase وتوجد فى أنسجة الحيوان.

الإنزيمات الهضمية: Digestive Enzymes

يشتمل الجهاز الهضمى للإنسان على مجموعة كبيره من الإنزيمات الهضمية التى تقوم بتحلل المواد الغذائية من صورها المعقدة إلى صور أخرى بسيطة حتى يتمكن الإنسان من الاستفادة بها فى عمليات التمثيل الحيوى للطاقة فى الجسم وهى كالتالى:

جدول (٧) الإنزيمات الهضمية

اسم الإنزيم	العصير الذى يحتوى على الإنزيم	مكان تكوين الإنزيم	مكان عمل الإنزيم	الوسط المناسب
أميلاز	اللعاب	الغدد اللعابية	تجويف الفم	متعادل
البيسين	العصير المعدى	غدة المعدة	تجويف المعدة	حامضى
هيموزين الأطفال	العصير المعدى	غدة المعدة	تجويف المعدة	حامضى
ليباز الأطفال	العصير المعدى	غدة المعدة	تجيف المعدة	حامضى
التربسين	عصير النبكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
النوكلياز	عصير البنكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
أميلاز	عصير البنكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
ليباز المرارة	عصير البنكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
الإيريبسين	العصير المعوى	غدد الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
المالتيز	العصير المعوى	غدد الأمعاء	تجويف الفأمعاء	قلوى خفيف
الساكريز	العصير المعوى	غدد الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
اللاكتيز	العصير المعوى	غدد الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
ليبيز	العصير المعوى	غدد الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
الأنتروكيناز	العصير المعوى	غدد الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف

ومن الأقوال المأثورة عن العلماء أن الحياة أساسها استمرار فعل الإنزيمات، فجميع العمليات الحيوية التى تتم فى الجسم تنسب إلى فعل الإنزيمات، لذا فيمكن القول أن الإنزيمات والهورمونات وعوامل الوراثة هم أساس حياة الإنسان.

الفصل السابع

التمثيل الهوائى للطاقة



- مقدمة:
- أنواع القدرات الهوائية.
- فسيولوجيا القدرات الهوائية.
  - إنتاج الطاقة بنظام الأكسجين.
  - الجلكزة الهوائية.
  - دورة كربز.
- تمثيل الجلوكوز والجليكوجين أثناء العمل البدنى الهوائى.
- الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين.
- الحد الأقصى المطلق والنسبى لاستهلاك الأكسجين.



التمثيل الهوائى للطاقة:

Energy Aerobic Metabolism:

المقدمة:

كلمة هوائى يقصد بها العمل العضلى الذى يعتمد بشكل أساسى على الأكسجين فى إنتاج الطاقة أى إنتاجه بالعضلة بطريقة هوائية.

ويعرف العمل الهوائى بأنه هو ذلك العمل الذى يتم فى وجود الهواء أو بمعنى أدق فى وجود الأكسجين With Oxygen وليس المقصود بذلك أن يتم فى الهواء الطلق كما يفهم البعض، ولكن هو ذلك العمل الذى يتم بسرعة معتدلة أو ببطء وبحيث تكون كمية الأكسجين التى يستهلكها الشخص كافية للجهد الذى يبذله، لذا نجد أنه قادر على الاستمرار فى تكرار هذا النشاط لمدة طويلة.

والجلد الدورى التنفسى أو التحمل الدورى التنفسى هو ما يطلق عليه من الوجهة الفسيولوجية التحمل الهوائى نسبة لاعتماد العمل العضلى على الأكسجين لإنتاج الطاقة، وبالمقارنة بين كلمة «هوائى» وكلمة الجهاز «الدورى التنفسى» التى ينسب إلى كل منهما التحمل فإن كلمة هوائى يقصد بها عمليات التمثيل الغذائى الهوائى التى تعتمد على استهلاك الأكسجين، يدخل ضمن العمليات الفسيولوجية اللازمة لذلك عمليتان أساسيتان هما:

- عملية نقل الأكسجين حيث يقوم الجهازان التنفسى والدورى والدم بمهمة نقل الأكسجين إلى العضلات.
- والعملية الأخرى هى قيام العضلات باستهلاك ما يصل إليها من الأكسجين لإنتاج الطاقة الهوائية.

وأجهزة نقل الأكسجين وهى «الجهاز التنفسى والدورى والدم» لا تعتبر عاملا معوقا لإنتاج الطاقة الهوائية حيث إنها تقوم بدورها وتوفر للعضلة الأكسجين وبما يفوق

قـدرة العضلة على استـهـلاكة، وبذلك فـإن العـضلة ذاتها هى الأسـاس فى التحـمل الهوائى، كما أن العمليات البيوكيميـائية والفسيولوجية داخل العضلة هى المحددة للقدرة الهـوائية، وهذا مـا يجعلنـا نربط التحـمل بمصطلح الهـوائى أكثـر من الجهـاز الدورى والتنفسـى حيث إن كلمة هوائى هى الأكـثر دقـة والأكثر شـمولا لأنهـا تحتوى الجـهاز الدورى والتنفسى والدم والعضلات ذاتها.

فالعمل الهوائى أوضحه البعض بأنه التغـيرات الكيميائية التى تحدث فى العضلات العاملة لإنتاج الطاقة اللازمة لأداء مجهود بدنى باستخدام أكسجين الهواء الجوى.

وتظهـر كفـاءة القـدرة الهوائيـة أو التـحمل الهـوائى للاعب فى عـدة مظاهر من أهمها:

- الاقتصاد الوظيفى عند أداء العمل العضلى بمعنى إمكانية أداء نفس المستوى من العمل العضلى، ولكن مع الاقتصاد فى الطاقـة المستهلكة أو الارتفاع بمستوى الأداء عند استهلاك نفس مستوى الطاقة.
- إمكانيـة الاحتـفاظ بمسـتوى أداء ثابت للعـمل البـدنى مع إمكانية الارتقـاء به وتطويره.
- قطع المسافات أو اتخاذ الأعمال البدنية فى زمن أقل.

هناك اتفاق على أن الأنشطة الرياضية التى يستمر فيها العمل العضلى لفترة طويلة قبل الإحساس بـالتعب، وهذه الفترة تتراوح من ثلاث دقائق ونصف حـتى ساعتين هى أنشطة هوائية، ومن هذه الأنشطة: «الجرى والسباحة لمسافات طويلة - الماراثون».

أنواع القدرات الهوائية:

حينما نتكلم عن القدرات الهوائية فإننـا نعنى نفس مفهوم التحمل الهوائى وهناك كثير من التقسيمات لأنواع التحمل تختلف تبعا لطبيعة الهدف من التقسيم، من أهم هذه التقسيمات:

* التحمل العام أو القدرة الهوائية العامة.

* التحمل الخاص أو القدرة الهوائية الخاصة.

والتحمل العام هو قدرة الجسم على إنتاج الطاقة الهوائية عند تنفيذ الأنشطة البدنية المختلفة فضلا عن أداء النشاط الرياضى التخصصى، وهو يعتبر أساسا مهما لبرامج الإعداد لجميع الرياضيين سواء كانوا من لاعبى السرعة أو لاعبى التحمل وخاصة فى بداية الموسم التدريبى.

والتحمل الخاص يقصد به مقدرة اللاعب على مواجهة التعب عند أعلى مستوى وظيفى للتمثيل الغذائى الهوائى الذى يمكن للاعب أن يحققة فى نشاطه الرياضى التخصصى. وتختلف أنواع التحمل الخاص ودرجاته حيث يشمل:

- تحمل المسافات الطويلة.

- تحمل المسافات المتوسطة.

- التحمل الخاص بالألعاب الرياضية.

فسيولوجيا القدرات الهوائية:

- إنتاج الطاقة بنظام الأكسجين Oxygen System.

يتميز هذا النظام على النظامين الآخرين لإنتاج الطاقة (الفوسفاتى - اللاكتيك) بوجود الأكسجين كعامل فعال خلال التفاعلات الكيميائية لإعادة ATP ويتم نظام الأكسجين فى داخل الخلية العضلية، ولكن فى حيز محدود هو الميتوكوندريا Mitochondria وهى عبارة عن أجسام تحمل المواد الغذائية للخلية ويكثر وجودها فى الخلايا العضلية.

ويؤثر التدريب الرياضى بصورة فعالة على الميتوكوندريا فتزداد فى العدد والحجم معا، وهو أمر هام لإنتاج مزيد من الطاقة عند الرياضيين، وتنقسم التفاعلات الكيمائية للنظام الهوائى أو نظام الأكسجين إلى سلاسل رئيسية هى:

- الجلكزة الهوائية Aerobic Glycolysis .

- دورة كربز Krebs Cycle .

- نظام انتقال الإلكترونات Electron Transport System .

الجلكزة الهوائية Aerobic Glycolysis.

يتم خلال الجلكزة الهوائية تحلل الجليكوجين إلى جزءين من حامض البيروفك Pirovic Acid وبذلك تنتج كمية كبيرة من الطاقة تكفى لإعادة بناء (٣ مول من ATP)، ويتم بعد ذلك استمرار حامض البيروفك خلال سلسلة من التفاعلات الكميائية تسمى دائرة كربز.

ففي الأكسدة الهوائية يتعرض حامض البيروفك (الذى تكون فى الأكسدة اللاهوائية) للتفاعلات التالية:

١- يتم نزع ثانى أكسيد الكربون ودخول الأكسجين بدلا منه وبذلك بتحول البيروفك إلى حامض أستيك.

«بيروفك +O_2 ← حامض أستيك Acetic Acid»

٢- اتحاد البيروفك مع ثانى أكسيد الكربون يعمل على تكون مادة تسمى أجزالو أستك.

«بيروفك + Co2 ← أجزالو أستيك Oxalo Acetic .

٣- اتحاد حامض الأستيك مع أجزالو أستيك يتكون حامض الستريك.

«أستيك + أجزالو ← ستريك Citric Acid .

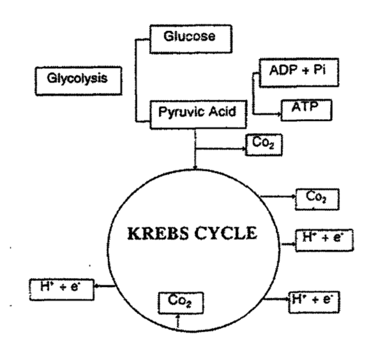
٤- يتعرض التفاعل الأخير إلى تفاعلات تتضمن اتحاده مع الأكسجين حيث يتكون ثانى أكسيد الكربون وماء وطاقة.

دورة كربز Krebs Cycle:

بعد تكوين حـامض البيـروفك أثناء الأكسدة الهـوائية للجلوكـوز فإنه يستـمر فى التحلل بتـفاعلات متـصلة أى فى دورة متصلة تعـرف بدورة كربز نسبـة إلى العالم هانز Hans Krebs الذى اكتشفهـا ونال على أثرها جائزة نوبل عام ١٩٥٣ . وفى هذه الدورة يحدث التالى:

١- إنتاج ثانى أكسيد الكربون.

٢- تأكسد الإلكترونات الناتجة من عمليات الأكسدة كما يتضح من الشكل.



شكل رقم (١٣) يوضح دورة كربز

ويشير (بروكس Brooks ١٩٨٣)، (ويلمور Wilmore ١٩٩٤) إلى أن الجـهد الهوائى مثل جرى ١٢ دقيقة والجهـد اللاهوائى مثل العدو ١٠٠ متر تؤدى إلى تغيرات فى نظم إنتاج الطاقة، ففى الجهد اللاهـوائى يزيد معدل نشاط أنزيمات الأكسدة مع زيادة

الفوسفاجين واللاكتات، وعند الجهد الهوائي يزداد معدل أقصى استهلاك للأكسجين Vo2max مع نقص فى تركيز اللاكتات بالدم».

أما عن الجهد البدنى الهوائي فيشير كل من (فوكس Fox ١٩٧٩)، (شاركى Sharkey ١٩٩٠) (مارك هاجريفز Mark Hargreaves ١٩٩٥) إلى أنه القدرة على أداء مجهود عضلى بشدة متوسطة أو أقل من القصوى لفترة زمنية تزيد على ثلاث دقائق مع قدرة الجهازين الدورى والتنفسى على إمداد العضلات العاملة بالأكسجين، ومن بين تلك الأنشطة سباقات المسافات الطويلة واختراق الضاحية.

ويشير (أبو العلا عبد الفتاح ١٩٨٤) إلى أن كفاءة الجسم فى استهلاك الأكسجين تعتبر من القدرات الهوائية الهامة التى يتطلبها النشاط البدنى الذى يتطلب تحمل الأداء لفترة طويلة، حيث إن استهلاك الأكسجين بكفاءة Vo2 max يعنى كفاءة إنتاج الطاقة، وبالتالى يتوفر للجسم فرصة الأداء البدنى بكفاءة وفاعلية أكبر، وتسمى القدرة الهوائية Aerobic Power وتقاس بأقصى كمية أكسجين يستطيع الجسم استهلاكها فى وحدة زمنية معينة.

وعن بعض الاختبارات الميدانية التى تقيس القدرة الهوائية يرى (بالك وكوبر Balake &Cooper ١٩٦٨) أن الاختبارات التى تتركز حول قياس القدرة الهوائية Aerobic power هى الاختبارات المناسبة لقياس التحمل الدورى التنفسى، وقد أوصوا بأن هذه الاختبارات تشمل الجرى لمدة ١٢ دقيقة، ٩ دقائق، ٦ دقائق، الجرى ميلين أو ميل واحد.

تمثيل الجلوكوز والجليكوجين أثناء العمل البدنى الهوائي:

عن درجة تركيز كل من الجلوكوز وحامض اللاكتيك فى الدم لدى الأفراد العاديين والرياضيين فقد اتفق كل من (فوكس Fox ١٩٧٩)، (واسرمان Wasserman

١٩٦٤)، (دوجلاس Douglas ١٩٧٢)، (كونيت وآخرون Connentt, etal ١٩٨٤)، (استراند Astrand ١٩٨٤)، (بروكس Brooks ١٩٨٣)، (أبو العلا عبد الفتاح ١٩٨٤) على أن نسبة جلوكوز الدم لدى الفرد العادى تبلغ من (٨٠ - ١١٠ ميلجرام / ١٠٠ ملليلتر دم)، حيث يكون هذا المعدل ثابتا فى الصباح قبل تناول طعام الإفطار، ثم يزداد تركيزه خلال الساعات الأولى من تناول الطعام، أما فى حالة الصيام أو الجوع فإن الكبد يعمل على تحويل الجليكوجين Glycogen المخزون به إلى جلوكوز، وتسمى هذه الحالة Glycogenilysis بغرض المحافظة على مستواه فى الدم.

وحول تبادل نظم إطلاق الطاقة خلال النشاط الرياضى يشير (ويلمور Wilmor ١٩٩٤) و(أبو العلا ١٩٨٤) إلى أن هناك بعض الأنشطة الرياضية تقع بين النظام الهوائى والنظام اللاهوائى مثل سباق (١٥٠٠ متر) أو فى بعض الألعاب الجماعية مثل كرة القدم، السلة، اليد حيث يعتمد اللاعب على مصدر الطاقة الفوسفاتى من (ATP) من خلال النظام اللاهوائى فى مرحلة من مراحل الأداء، بينما يكون المصدر الأكبر لإعادة بناء (ATP) خلال الجزء المتوسط من الأداء يعتمد على النظام الهوائى، وبذلك يمكن تقسيم الأنشطة الرياضية حسب استمرارية إنتاج الطاقة إلى مجموعات أربعة تبعا لنظم الطاقة وزمن الأداء فى كل منها.

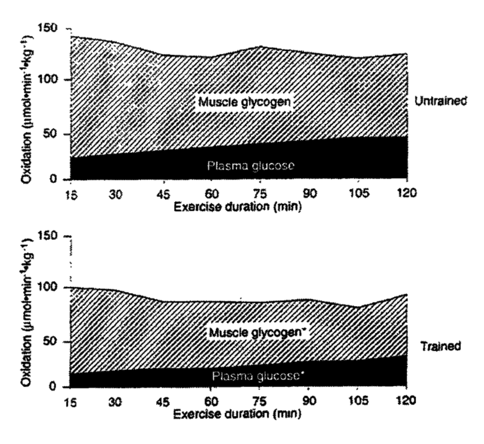
أجرى مؤلف الكتاب «دراسة عن تحديد بعض أزمنة الجرى ومسافات العدو المرتبطة بعمليات الأيض الهوائى لإنتاج الطاقة لدى ناشئى كرة القدم» وقد اشتملت عينة البحث على ٣٢ ناشئا من لاعبى كرة القدم بنادى الترسانة الرياضى وبلغ متوسط أعمارهم ١٦,٣٠ عاما (±٢,٣٥)، وبلغ متوسط الطول ١٦٦,٩٠سم (±٥,٧٢)، ومتوسط الوزن ٦١,٢٠ كيلو جرام (±٤١٨٥).

وتحددت القياسات الفسيولوجية فى تركيز جلوكوز الدم، الحد الأقصى المطلق لاستهلاك الأكسجين، وتحدد نوع العمل البدنى الهوائى فى الجرى لمدة زمنية محددة هى (٦ق، ٨ق، ١٢ دقيقة).

أوضحت النتائج أنه تحدث زيادة دالة معنويا فى الأيض الهوائى بدلالة معدل أقصى استهلاك للأكسجين نتيجة جرى ١٢ دقيقة، جرى ٨ دقائق، جرى ٦ دقائق ولصالح الجرى لمدة ١٢ دقيقة.

كما يحـدث انخفاض دال معنويا فى الأيض الهوائى بدلالة تركـيز الجلوكوز بالدم نتيجة جرى ١٢ق، ٨ق ولصالح الجرى لمدة ٦ دقائق.

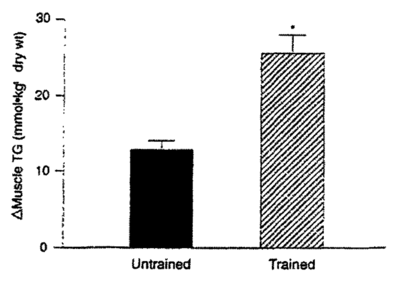
أجـرى كل من (كوجـان Coggan ١٩٩١، ١٩٩٣)، (مندنهـال Mendenhall ١٩٩٤)، دراستين عـن تأثير تدريبـات التحـمل لمدة ١٢ أسبـوعا على عـمليات أكـسدة جليكوجين العضلات وتحلل جلوكوز الدم، خلال العمل على الدراجة الأرجومترية لمدة ١٢٠ دقيـقة بشدة ٦٠٪ من الحد الأقـصى لاستهلاك الأكـسجين، واعتمـدا على تحديد وتقدير كمية استهلاك جلوكوز وبلازما الدم، وكذلك تحديد وتقدير الفروق فى استهلاك جليكوجين العضلات من خلال القياس غير المباشر للسعرات الحرارية المستهلكة، كما فى الشكل.



شكل (١٤) تمثيل الجلوكوز والجليكوجين فى العضلات

يتضح أنه خلال الـ ٣٠ دقيقة الأولى من العمل حدث انخفاض فى معدل أكسدة الجليكوجين والجلوكوز لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين، مما يعكس أن القدرة لدى الرياضيين أعلى من الأفراد العاديين فى أكسدة المواد الكربوهيدراتية.

وتشير دراسة (هورلى Hurley ١٩٩٧) عن تأثير تدريبات التحمل لمدة ١٢ أسبوع على تراى جلسريد TG العضلات خلال العمل البدنى على الدراجة الأرجومترية لمدة ١٢٠ دقيقة بشدة ٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين كما فى الشكل.



شكل (١٥) تمثيل تراى جلسريد فى العضلات

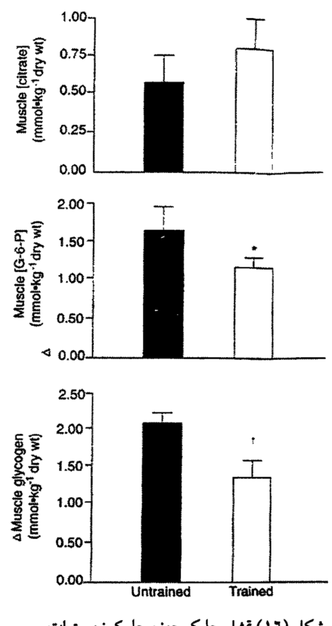
يتضح من الشكل أنه قد حدث انخفاض فى تركيز تراى جلسريد TG فى مجموعة غير الرياضيين مقارنة بمجموعة الرياضيين.

وتوضح دراسة (كوجان وآخرين Coggan etal ١٩٩١) عن تأثير العمل البدنى الهوائى لمدة ١٢ أسبوعا على تركيز كل من (سترات العضلات (Muscle Citrate)؛ جليكوجين العضلات (Muscle glycogen)، جلوكوز ٦ فوسفات (Muscle G-6-P) خلال العمل البدنى على الدراجة الأرجومترية لمدة ١٢٠ دقيقة بشدة ٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين.

- اتضح أنه قد حدث انخفاض فى معدل استهلاك جليكوجين العضلات خلال فترة العمل البدنى لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين.

- حدث انخفاض فى جلوكوز ٦ فوسفـات لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين وقد كان هذا الانخفاض دال معنويا.

- حدث ارتفاع غير دال معنويا في تركيز سترات العضلات لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين كما يوضحه الشكل التالى.



شكل (١٦) تمثيل جليكوجين، جلوكوز، سترات العضلات أثناء العمل البدنى الهوائى

الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، Maximul Oxygen Consumption:

يعتبر أقصى استهلاك للأكسجين من العوامل المؤثرة فى الكفاءة البدنية، ويعتبر التعرف على الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين من الأمور الهامة فى التدريب الرياضى بشكل عام وفى تدريبات التحمل بشكل خاص.

والحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين هو أقصى معدل من الأكسجين المستهلك باللتر فى الدقيقة.

كما يطلق عليه بأنه عبارة عن أكبر كمية من الأكسجين التى تستهلك أثناء العمل العضلى باستخدام أكثر من ٥٠٪ من عضلات الجسم.

ومن المعروف أن الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين يعبر عن قدرة الجسم الهوائية، وتقوم بهذه المسئولية ثلاثة أجهزة أساسية فى الجسم هى «الجهاز التنفسى والجهاز الدورى والجهاز العضلى» وبالرغم من أهمية هذه الأجهزة وتعاونها إلا أن أهمها هو الجهاز العضلى، لذا فإن العضلات تعتبر هى العامل المحدد للكفاءة الهوائية وليس عملية نقل الأكسجين إلى العضلات، وبناء على ذلك فإن تنمية التحمل العضلى يحتاج دائما إلى استخدام نفس نوع النشاط الرياضى التخصصى الذى يضمن العمل لنفس الألياف العضلية المستخدمة، بينما تستخدم تدريبات التحمل العام لتنمية كفاءة الجهازين الدورى والتنفسى.

ويعتمد التحمل الهوائى للألياف العضلية على قدرتها فى استهلاك الأكسجين، وهذا يعتمد فى المقام الأول على زيادة محتوى الليفة العضلية من الميوجلوبين والميتوكوندريا وأنزيمات الطاقة الهوائية وزيادة الشعيرات الدموية، وهذه التغيرات الفسيولوجية هى المسئولة عن زيادة كفاءة العضلة فى استهلاك الأكسجين وإنتاج الطاقة الهوائية، وهذا يساعد العضلة على العمل لفترة طويلة وتحمل التعب.

وتعتمد سباقات المسافات الطويلة على التحمل الدورى التنفسى اعتمادا كبيرا حيث تعد لياقة الجهازين الدورى والتنفسى من أهم عناصر اللياقة البدنية الخاصة بلاعبى التحمل، وفى هذا الصدد يذكر «علاوى ١٩٧٩م» أن التحمل هو قدرة الفرد على العمل لفترات طويلة دون هبوط مستوى الكفاية والفاعلية، فى حين يرى بارو Barrow ١٩٧٦م» أن التحمل يعنى القدرة على القيام بمجهود يتطلب انقباض العضلات الإرادية لإخراج قوة متوسطة أو أقل من القوى القصوى لفترات زمنية طويلة.

ويفضل بعض العلماء وخاصة علماء التربية الرياضية بالولايات المتحدة الأمريكية استخدام مصطلح الجلد الدورى التنفسى بدلا من التحمل؛ نظرا لأن هذا النوع من التحمل يرتبط ارتباطا وثيقا بدرجة مستوى الجهازين الدورى والتنفسى؛ إذ يتوقف عليهما نقل الأكسجين والوقود إلى العضلات العاملة حتى تتمكن من الاستمرار فى العمل لفترة طويلة.

ويعرف كل من «استراند Astrand ١٩٧٠م»، «بارك Burke ١٩٨٠م»، «شاركى Sharkey ١٩٧٩م» لياقة الجهاز الدورى التنفس بأنها قدرة الجسم على أخذ ونقل الأوكسجين والاستفادة منه فى داخل الخلايا العضلية لتوفير الطاقة اللازمة للجهد البدنى، كما أن أفضل مؤشر للياقة الجهاز الدورى التنفسى هو القدرة الهوائية القصوى Maximal Aerobic Power وهى قدرة الفرد على استهلاك الحد الأقصى للأكسجين Vo_2 Max أثناء بذل أقصى جهد بدنى ممكن، ويتم قياس استهلاك الأكسجين باللتر فى الدقيقة فى حالة التعرف على الحد الأقصى المطلق لاستهلاكه، بينما يعرف الحد الأقصى النسبى لاستهلاك الأكسجين بعدد المليلتر لكل كيلو جرام من وزن الجسم فى الدقيقة.

ويعد الجرى من أهم الوسائل فى إعداد وتدريب لاعبى المسافات الطويلة وغيرها من الألعاب والرياضات المختلفة، فالجرى هو رياضة الأبطال؛ نظرا لأن أى رياضى فى أى لعبة لابد أن يعتمد على الجرى كجزء أساس فى مكونات برامج التدريب لما يتميز

به من استمرارية أكسدة مواد الطاقة بالطرق الـهوائية وهو بذلك يزيد من نسبة استهلاك الأكسجين؛ نظـرا لاشتراك معظم العضـلات الإرادية أثناء الجرى، كما أثبـتت عديد من الدراسات أن الجرى يكسب الصحة ويفيـد القلب وهو يناسب جميع الأعمار والأجناس وخاصة أن الفرد أثناء الجرى يتنافس مع قـدراته هو فى بعض الأحيان وفى أحيان أخرى يتنافس مع الغير لتحقيق زمن معين أو كسب بطولة محددة.

الحد الأقصى المطلق والنسبى لاستهلاك الأكسجين:

يعرف الحـد الأقصى المطلق لاسـتهلاك الأكـسجين بعـدد اللترات المستـهلكة من الأكسجين فى الدقيقة الواحدة (لتر / دقيقـة) بينما يعرف الحد الأقصى النسبى لاستهلاك الأكســجين بعد مليلترات الأكــسجين مقـابل كل كيلوجـرام من وزن الجسم فى الدقيـقة الواحدة ويمكن حـسابها عن طريق قـسمة الحـد الأقصى المطلق باللتـر على وزن الجسم بالكيلوجرام، فيكون الناتج مليلتر/ كجم/ دقيقة.

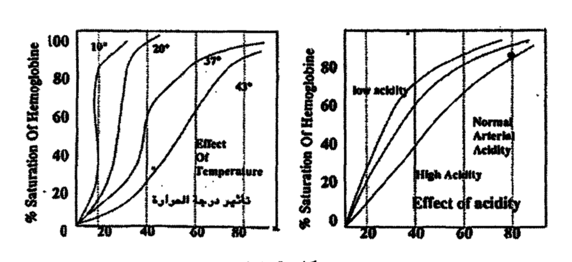
ويتراوح معدل استهلاك الأكسجين للشخص البالغ أثناء الراحة من (٢-٣) لتر/ق ويزداد معدل اسـتهلاك الأكسجـين أثناء التمرينات ليصبح (٣-٦ لـتر/ق) ويتوقف ذلك على عدة عوامل منها «السن - الجنس - مستوى اللياقة البدنية».

وتجدر الإشارة إلى أن الإنســان يصل إلى الحد الأقصى لاستهـلاك الأكسجين عند سن من ١٨ - ٢٠ سنة، ثم يقل تدريجيا مع تقدم العمر كما أن الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين لدى الإناث أقل منه عند الرجال بحوالى ٢٠٪.

ويشير «اسـتراند Astrand ١٩٧٠م» إلى أن مـتـوسط الحـد الأقـصى النسـبى لاستهلاك الأكسجين لدى الرجل السليم وظيفـيا فى سن العشرين يصل إلى ٥٦ ملليتر/ كجم/ق. ويرتفع هذا المتوسط إلى أكثر من ٨٠ ملليلتر/ كـجم/ق تبعا للحالة التدريبية التى يصل إليها الفرد الرياضى».

ويذكر كل من (ويلمور Wilmore ١٩٩٥)، (أبو العلا ١٩٩٧)، (مـاثيور Ma-thews ١٩٧٦) أن الحد الأقصى المطلق لاستهلاك الأكـسجين لدى غير الرياضيين وقت الراحة يتراوح من (٢-٣ لتر/ ق) ٤٠ ملليلتـر/ كجم/ ق، بينما يكون لدى الرياضيين من (٤-٦ لتر/ ق) ٨٠-٩٠ ملليلتر/ كجم/ق.

ويشير (فاندر وآخرون Vander, etal ١٩٨٤) إلى وجود ارتباط بين مـعدل تشبع الهيموجلوبين Hemoglobin بالأكسجين Oxygen، فعندمـا تكون درجة حـرارة الجسم طبيعية (٣٧م) ومعدل (pH) الدم طبيعية (٧,٤) درجة تكون درجة التشبع كامله تقريبا، بمعنى أنه كلما زاد ضغط الأكسـجين يزيد معه درجة تشبع الهيـموجلوبين بالأكسجين إلى أن يصل إلى ١٠٠٪، وعندها تكون درجة التشبع (٩٧٪) وتقل درجـة التشبع فى حالة زيادة حمـضية الدم وارتفـاع درجة حرارة الجـسم حيث يتغـير منحنى تلك العـلاقة بين الهيموجلوبين والأكسجين، ويتغير جهة اليمين ويسمى عندئذ Shift to the Right وعند ذلك تقل درجة التشبع لتصل إلى حوالى (٥٠٪) ويتـبع ذلك نقص فى كمية الأكسجين التى يحملها الدم إلى الأنسجة العضلية.



شكل رقم ١٧

منحنى تشبع الهيموجلوبين بالأكسجين فى حالة زيادة حموضة الدم

(عن فاندر وآخرون VANDER, et al ١٩٨٤)

الفصل الثامن

التمثيل اللاهوائى للطاقة



- مقدمة:
- أنواع القدرات اللاهوائية.
- فسيولوجيا القدرات اللاهوائية.
- النظام الفوسفاتى.
- نظام حامض اللاكتيك.
- بعض المفاهيم عن حامض اللاكتيك.
- استخدام حامض اللاكتيك كمصدر للطاقة.
- تحلل الجلوكوز لاهوائيا.
- العتبة الفارقة اللاهوائية.

* * *

التمثيل اللاهوائى للطاقة:

Energy Anaerobic Metabolism:

المقدمة:

يرجع اصطلاح «اللاهوائى» إلى العمل العضلى الذى يعتمد على إنتاج الطاقة اللاهوائية.

العمل اللاهوائى أوضحه البعض بأنه عبارة عن التغيرات الكيميائية التى تحدث فى العضلات العاملة لإنتاج الطاقة اللازمة لأداء المجهود، مع عدم كفاية أكسجين الهواء الجوى.

كما أن العمل اللاهوائى هو ذلك العمل الذى يتم فى غياب الأكسجين أو دون كمية كافية منه Without Oxygen ويتضمن النشاط السريع الذى لا يستمر لمدة طويلة مثل (العدو السريع أو حمل الأثقال أو الجمباز).

وعندما يتطلب الأداء الحركى عملا عضليا بأقصى سرعة أو أقصى قوة فإن عمليات توجيه الأكسجين إلى العضلات العاملة لا تستطيع أن تلبى حاجة العمل العضلى السريعة من الطاقة، وعلى هذا الأساس يتم إنتاج الطاقة بدون الأكسجين أى بطريقة لاهوائية، وكما ذكرنا سابقا أن هناك نوعين من نظم إنتاج الطاقة اللاهوائية أحدهما نظام الطاقة الفوسفاتى «ATP-Pc» وهو النظام الأسرع والمسئول عن إنتاج الطاقة للأنشطة البدنية التى تؤدى بأقصى سرعة ممكنة فى حدود ما لا يزيد عن ٣٠ ثانية.

وفى حالة زيادة فترة العمل العضلى إلى دقيقة أو دقيقتين، فإن النظام اللاهوائى الثانى وهو نظام حامض اللاكتيك (الجلكزة اللاهوائية) يصبح هو النظام المسئول عن إنتاج الطاقة، وينتج عن هذه العملية حامض اللاكتيك الذى يؤثر على قدرة العضلة على الاستمرار فى الأداء بنفس الشدة ويحدث التعب.

وتحتاج العضلات إلى كمية كبيرة من الطاقة أثناء انقباضها فتستمدها من مصادر عدة أولها هو مخزون أدينوزين ثلاثى الفوسفات Adenosine Triphasphate والذى يعتبر المركب الأساسى لانطلاق الطاقة ولكن سرعان ما يستنفد هذا المخزون بعد حوالى ثانية من الانقباض.

والعضلات تقوم ببناء أدينوزين ثلاثى الفوسفات من انشطار «الكرياتين Creatine فتنطلق طاقة لاهوائية أى فى عدم وجود الأكسجين، ولكن سرعان ما تستنفد هذه الطاقة

فى خلال ثوان قليلة فتضطر العـضلات بعدها إلى هدم الجليكوجين Glycogen المختزن فيهـا لاستعادة بناء أدينوزيـن ثلاثى الفوسفات لانطلاق طاقـة لاهوائية، وينتج عن هذه العملية حامض اللاكتيك حيث لا يتواجد قدر كاف من الأكسجين.

وبنظرة تحليلية لأنشطة النظام اللاهوائى نجـد أنها تلك الأنشطة التى تتطب الأداء بالسرعة القصوى، إذا كان العمل العضلى من النوع المتحرك، أو بالانقباض الأقصى إذا كان العمل العضلى من النوع الثابت.

وجميع الأنشطة اللاهوائية تتميز بقوة الانقباض العضلى مما يؤدى إلى زيادة إنتاج الطاقة من إدينوزين ثلاثى الفوسفات، كما تتميز بالشدة العالية وتتأثر بعدة عوامل هى:

- نقص مخزون الطاقة.
- الارتفاع الشديد فى درجة الحرارة.
- ارتفاع مستوى حامض اللاكتيك.
- القوة العضلية ونوع الألياف العضلية.
- السن والجنس.

أنواع القدرات اللاهوائية:

تنقسم القدرات اللاهوائية إلى نوعين هما:

١- **القدرة اللاهوائية القصوى** Maximum Anaerobic Power وهى القدرة على إنتاج أقـصى طاقة أو شـغل ممكن بالنظام اللاهوائى الفوسـفاتى، وتتـضمن جميع الأنشطة الـبدنية التى تؤدى بأقصى سرعـة أو قوة وفى أقل زمن ممكن يتراوح ما بين ٥-١٠ ثوانى.

٢- **السعة اللاهوائية** Anaerobic Capacity ويطلق عليها أيضا التحمل اللاهوائى Anaerobic Endurance وهى القدرة عـلى الاحتفـاظ أو تكرار انقبـاضات عضلية قصوى اعتمادا علـى إنتاج الطاقة اللاهوائية بنظام حامض اللاكتيك، وتتضمن جـميع الأنشطة البدنية التـى تؤدى بأقصى انقباضات عـضلية ممكنة سواء ثابتة أو متحركة مع تحمل التعب حتى دقيقة أو دقيقتين.

ويذكر (ويلمور Wilmore ١٩٩٤)، (ماثيوز Mathews ١٩٨١) أن القدرة اللاهوائية تعنى قدرة العضلة على العمل فى إطار إنتاج الطاقة اللاهوائية والتى تتراوح بين أقل من ٣٠ ثانية حتى دقيقتين بشدة قصوى، ويتطلب ذلك كفاءة فى قدرة العضلات على تحمل نقص الأكسجين وزيادة قدرة تلك العضلات على استخدام نظم الطاقة اللاهوائية وتحمل زيادة حامض اللاكتيك Lactic Acid. ومن بين هذه الأنشطة العدو لمسافة ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠ متر.

كما أن القدرة اللاهوائية Aerobic power هى التى تعتمد على إنتاج الطاقة فى أقل زمن ممكن لأداء عمل عضلى قصير اعتمادا على نظام الفوسفات، وتعتبر قياسات القدرة اللاهوائية هى بمثابة قياسات الحد الأقصى لعمليات التمثيل الغذائى اللاهوائى لإنتاج الطاقة، ويضيف أن التحمل اللاهوائى يمثل قدرة العضلات على القيام بانقباضات عضلية بالحد الأقصى لها خلال فترة زمنية من ١٠ ثوان حتى دقيقتين اعتمادا على نظام حامض اللاكتيك لإنتاج الطاقة.

فسيولوجيا القدرات اللاهوائية:

تعتمد القدرات اللاهوائية على النظام اللاهوائى لإنتاج الطاقة. وهذا النظام ينقسم إلى نوعين، هما النظام الفوسفاتى ونظام حامض اللاكتيك.

النظام الفوسفاتى : phosphagen system

يوجد فى خلايا الجسم مركب كيميائى يسمى ثلاثى أدينوزين الفوسفات Adenosin Triphosphate ويرمز له بالرمز (ATP) ويتكون من مواد بروتينية وكربوهيدراتية بالإضافة إلى المجموعة الفوسفاتية، وتقوم خلايا الجسم بوظائفها اعتمادا على الطاقة الناتجة عن انشطار هذا المركب الكيميائى حيث يؤدى انشطار أحد مكونات المجموعات الفوسفاتية إلى إنتاج كمية كبيرة من الطاقة حوالى من ٧ - ١٢ سعر حرارى كبير (كيلو كالورى) ويصبح المركب بعد ذلك ثنائى الفوسفات (Adenosin Diphosphate) ويرمز له بالرمز (ADP) وتعتبر المصدر المباشر للطاقة الذى تستخدمه العضلة فى أداء الشغل المطلوب، إلا أن كمية (ATP) المخزون فى العضلة قليلة جدا لا تكفى لإنتاج طاقة تتعدى بضعة ثوان، ولذلك فإنه يتم بصفة مستمرة إعادة بناء (ATP) وعند انشطاره تتحرر كمية من الطاقة تعمل على استعادة بناء (ATP) حيث يتم استعادة مول (Mole) (ATP) مقابل انشطار مول (PC).

وتقدر كمية المخزون من (ATP - PC) فى العضلة لدى الرجـال ٦, ٠ مول[*] بينما عند السـيدات ٣, ٠ مول. ويلاحظ أن القـيمة الحـقيقـية لهذه المركـبات تكمن فى سرعة إنتاج الطاقـة وعندما يعدو اللاعب ١٠٠ متر بأقصى سرعـة فإن مخزون (ATP - PC) ينتهى ثم يعاد بناؤه مـرة أخرى أثناء عملية الاستـشفاء، وتعتمـد الأنشطة الرياضية التى تتم فى وقت قصـير مثل العـدو والوثب ودفع الجلة والذى يتراوح زمن الأداء فى كل منها إلى أقل من ٣٠ ثانـية تعتمـد على النظام الفوسفـاتى كمصـدر للطاقة، ولذلك يطلق عليه النظام اللاهوائى حيث لا يعتمد على سلسلة طويلة من الـتفاعلات الكيميائية كما أنه لا يعتمد على الأكسجين لإتمام التفاعل.

ويختـزن الجزء الأكبر من الطـاقة الناتجة من تفاعـلات أكسدة المواد العـضوية فى صورة طاقة كيميائية (Chemical Energy) فى المركبات الفـوسفاتية ذات الطاقـة العالية (High Energy Coppounds) والتى تنفرد منهـا طاقة حرة قـدرها حوالى من ٦-١٦ كـيلو كالورى / مـول عند التـحلل المائى لهـا، بينما المركـبات ذات الـطاقة المنخـفضـة (LowEnergy Compounds) تنفرد منها طاقة حرة قدرها من ٢-٤ كيلو كالورى/ مول عند تحلل الروابط الكيميائية لها.

ومن أهم المركبات ذات الطاقة العالية المركبات الفوسفاتية مثل فسفوانيول بيروفات (Phosphoenol Pyruvate)، كربـوكسيـل فوسـفات (Carboxy Licphosphate)، البيروفوسفات (Pyrophosphate)، ثلاثى فوسفات الأدينوزين (Adenosin Triphos-phate)، ويرمز له بالرمز ATP لأنه من الروابط ذات الطاقة العاليـة حيث ينفرد ATP بأهمية خـاصة بين المركبات ذات الطاقة العاليـة وبواسطتها تتجمع الطاقـة الحرة والمنفردة من تفاعلات أخـرى بصورة مباشرة وغيـر مباشرة؛ ونظرا لأن هذه المركبـات ليست ثابتة (Unstable) فى الخلية الحية فإنها لا تكتسب أهمية كبيرة فى تخزين الطاقة إذا ما قورنت بمركب فوسفوكرياتين (Creatinephosphate)، ويرمز له بـالرمز PC، وهو ذات أهمية خاصة فى تخزين الطاقة بالإضافة إلى فوسفوارجنين (Phosphoarginine).

(*) المول هو وزن الجـرام الجزيئـى وهو عبـارة عن المجـموع الكلى لـلوزن الذرى لمكونات المركب الكيميائى ويستخدم المول كوحدة قياس للمركبات.

وفى الأكسدة اللاهوائية (Anaerobic Oxdation) نجد أن الجلوكوز (Glucose) يتحول إلى جلوكوز ٦ فوسفات (Glucose 6- Phosphate) ليصبح أكثر نشاطا وليكون منتجا للطاقة وليصبح قادرا على الاشتراك بسهولة فى التحولات الحيوية داخل الخلايا العضلية؛ ويلاحظ أن عملية فسفرة الجلوكوز تشمل تكسير أحد الروابط الغنية بالطاقة لتكوين رابطة فوسفات جديدة فقيرة نسبيا بالطاقة، ويؤثر على تلك العمليات هورمونات عديدة بالجسم أهمها الأنسولين، وينتهى تمثيل الجلوكوز لاهوائيا داخل الخلايا العضلية بتكوين مركب كيميائى جديد هو حامض اللاكتيك (Lactic Acid).

نظام حامض اللاكتيك: Lactic Acid system

يعتمد هذا النظام على بناء (ATP) لاهوائيا بواسطة عملية الجلكزة اللاهوائية (Glycolysis) حيث يتم انشطار السكر فى غياب الأكسجين مما يؤدى إلى تكوين حامض اللاكتيك فى العضلة والدم وهذا بدوره يؤدى إلى التعب العضلى عند زيادته.

وفى هذا النظام تتم التفاعلات الكيميائية فى غياب الأكسجين مما ينتج عنه قلة كمية (ATP) التى يمكن استعادتها من انشطار السكر بالمقارنة فى حالة إتمام هذه التفاعلات الكيميائية فى وجود الأكسجين.

حامض اللاكتيك عبارة عن مركب كيميائى يرمز له بالرمز التالى:
(CH_3- CHOH - COOH) ويذكر (واسرمان WASSERMAN ١٩٦٤، أن نسبة حامض اللاكتيك فى الدم لدى الفرد العادى وقت الراحة من (٨-١٢ مليجرام ٪) (حوالى -١ مللى مول. لتر) ويعتبر حامض اللاكتيك هو الصورة النهائية لاستهلاك الجليكوجين اللاهوائى (بدون الأكسجين)، إلا أن تلك النسبة تزيد عند أداء الأنشطة الرياضية ذات الشدة العالية، وعند معدل منخفض من الأكسجين (Hypoxia)، وأن استخدام كلمة لاهوائى تعنى أن كمية الأكسجين تصبح غير كافية لتكوين الطاقة بالطرق الهوائية.

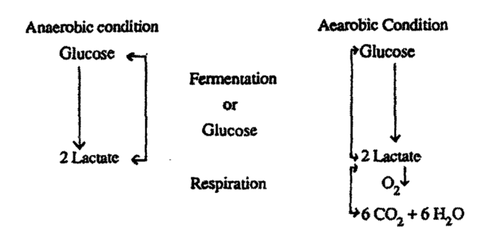
ينتج حامض اللاكتيك من تحليل الجليكوجين والجلوكوز - (Glycogenolysis and glycolysis بواسطة بعض الأنزيمات التى تعمل على تحلل الجلوكوز إلى حامض اللاكتيك كنهاية لعملية (glycolytic Pathway) بمساعدة إنزيم (لاكتاك ديهيدروجينيز Lactate dehydrogenase) ويرمز له بالرمز (Pyruvat) إلى لاكتات (Lactate) تفقد

بعض الطاقة التى تقدر بـنسبة (٦ , ٠ كالورى / مول) ويتكون حـامض اللاكتيك كناتج لعمليـة التمثيـل الغذائى للمواد السكرية فى غـياب الأكسجين، كـما يتكون ثانى أكسـيد الكربون كناتج لعملية التنفس الخلوى، والفرق بين الاثنين (Lactic Acid, Co_2) هو أن ثانى أكسيد الكربون يعتبر الناتج النهائى لعملية التنفس، بينما حامض اللاكتيك ناتج أثناء عمليات التمثيل الغذائى (Métabolism).

ويذكر (دوجلاس وآخرون DOUGLAS, et al ١٩٧٢)، أنه أثناء العمل العضلى البسـيط لا تحدث زيادة كـبيرة فى تركـيز اللاكـتات بالدم عن تركـيزها قبل بدايـة العمل العضلى، ولكن بزيـادة معدل العمـل العضلى إلى حد فـوق المتوسط تبدأ اللاكـتات فى الارتفاع بالدم، ولاحظوا أن مقدرة اتحاد الكربونات بالدم (HCO_3) تقل عند زيادة تركيز اللاكتات بالدم، وأن عـدد مرات التنفس يزداد لطرد ثانى أكسيـد الكربون، وبالتالى يقل تركيـز بيكربونات الصوديوم فـى الدم حيث إن البيكربـونات تتحد مع الصـوديوم ليكون الناتج بيكربونات صوديوم.

ولا يؤدى التـدريب الريـاضى إلى زيادة مـعـدل (PH) الدم أى تركـيـز أيونات الهيـدروجين، وذلك بسبـب المنظمات الحـيوية (Buffers) حـيث تقوم هذه المنظمـات الحيـوية بالحفاظ على درجة تركـيز أيونات الهيـدروجين فى الدم. أى تعادل بين أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات الهيدروكسيل (OH) وكلما زادت درجـة تركيز (H^+) يصبح الدم حمضيـا ويقل مستوى (PH)، والعكس إذا زاد مسـتوى (PH) يصبح الدم قلويا، ومستوى (PH) الدم الشـريانى أثناء الراحـة (٧,٤٠) بينمـا يبلغ مـستـوى (PH) الدم الوريدى (٧,٣٥) نظرا لزيادة محتـواه من حامض الكربونيك، ويساعد مـستوى (PH) الدم عند مستوى (٧,٣٥-٧,٤٠) على قـيام الجسم بالعمليات الفسـيولوجية والتى من أهمها مقدرة الهيموجلوبين على نقل الأكسجين إلى الأنسجة.

تتوقف الزيادة فى إنتاج حامض اللاكـتيك فى الدم على نوع العمل العضلى الذى يقـوم به الفرد وشـدته، فـعندما يكون العـمل العـضلى متـوسط الشـدة ويتم فى ظل استخدام الأكسجين (Aerobic) لا يزداد إنتاج حـامض اللاكتيك فى الدم، أمـا إذا كان العمـل العضلى مـرتفع الشدة ويتم فى غـياب الأكـسجين (Anaerobic) فيـزداد تجمع حامض اللاكتيك فى الدم، وذلك كما يوضحه الشكل التالى:



شكل رقم (١٨)

تحلل الجلوكوز هوائيا ولا هوائيا

بعض المفاهيم عن حامض اللاكتيك:

نظرا لكثرة استخدام حامض اللاكتيك فى مجال فسيولوجيا الرياضة والتدريب الرياضى نلقى الضوء على بعض المفاهيم حتى يسهل علينا التعرف على المعانى المختلفة لكل منها.

فعلى سبيل المثال مصطلح إنتاج حامض اللاكتيك Production of lactic Acid يرمز له بالرمز Ra ويمكن معرفة معدل إنتاجه لدى الفرد بالمليجرام / ١٠٠ ملليلتر دم وذلك عن طريق تحليل الدم وهو عادة يتراوح فى الفرد العادى من ٨-١٢ ملليجرام/ ١٠٠ ملليلتر.

وفى مقابل إنتاج حمض اللاكتيك تكون عملية إزالة حامض اللاكتيك أو التخلص منه تسمى (Rate of diimation) ويرمز لها بالرمز (Bd) ويسمى أحيانا معدل اختفاء أو تلاشى حامض اللاكتيك ويقاس بالتحليل التكنولوجى المتتالى أو المتعاقب للدم.

ثم نجد بعد ذلك أن هناك استقرار حامض اللاكتيك أو ثبات مستوى حامض اللاكتيك، ويسمى Steady State ويرمز له بـ Ra = Rd أى أن عمليات الإنتاج والتخلص متساوية وهذا يعنى ثبات مستواه.

إلا أن هناك عمليـات إعادة التكوين والتـى تسمى Rate Turnover ويرمز لها بالرمز Rt بمعنى أنه عندما يعاد إنتاج حامض اللاكتيك فى الدم لدرجة يتساوى فيها معدل تكوينه مع معدل إزالته يرمز له بالرمز Rt أى يتساوى الإنتاج مع إعادة التكوين.

.RT = Ra = Rd

ويعرف اللاكتيك بأنه الناتج النهائى لعملية تحلل الجلوكوز بدون أكسجين ويرمز له بالرمز التالى:

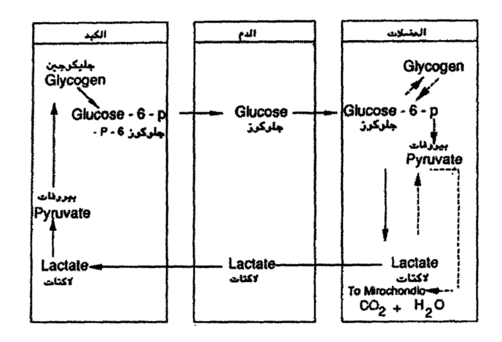
$$C_6H12\ O_6 \longrightarrow 2\ CH_3 - \underset{\large OH}{\overset{\large H}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}} - CoOH$$

استخدام حامض اللاكتيك كمصدر للطاقة:

Use of Lactic Acid for Energy

ينتج حامض اللاكتيك بواسطة العضلات الإرادية أثناء قيام الفرد بالعمل العضلى اللاهوائى وتتحـول نسبة كبيـرة من حامض اللاكتيك إلى البـيروفات (pyruvate) التى تتكسـر إلى ثانى أكسيد الكربون ومـاء (CO_2 -H_2 O) بواسطة الميتوكوندريا (Mitochondria).

وعندما تزداد نسبة حامض اللاكتيك فى العضلات تخرج إلى الدم الذى يحملها بدوره إلى الكبد (Liver) والكبد بدوره يقوم بتحويل اللاكتات (Lactate) إلى بيروفات (pyruvate) عن طريق عمليات كيميائية متصلة تنتهى بتحويل البيروفات إلى جلوكوز (glucose - 6 p) يذهب إلى الدم ثم يصل إلى العضلات لاستخدامه فـى إنتاج الطاقة وذلك من خـلال عمليـات الجلكزة أو يخزن على صـورة جليكوجين (glycolysis or glycogen) أو ليظل كمخازن للطاقة فى العضلات وتعرف بدورة كورى (Cori Cycle) ما بين العضلات والكبد، وذلك كما يوضحه الشكل التالى:



شكل رقم (١٩)

دورة كورى لحامض اللاكتيك عن لامب ١٩٨٤)

تحلل الجلوكوز لاهوائيا: Anaerobic Glycolysis

تحلل الجلوكوز يعنى تكسيره إلى (٢) جزىء من حامض اللاكتيك كما يلى:

$$1)\quad C_6H_{12}O_6 \;\text{———————}\; 2\,CH_3-\underset{OH}{\overset{H}{C}}-COOH$$

"glucose" Latic Acid

نلاحظ فى المعادلة أن عـدد ذرات الكربون والهيدروجين والأوكسجين فى طرفى المعادلة متساوى ثم يتحول هذا التفاعل إلى:

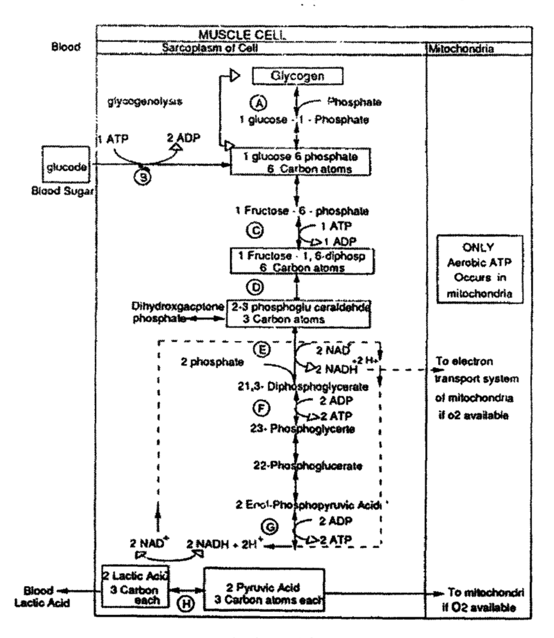
2) Glucose + 2 pi + ADP → 2 Lactate + 2 ATP + $2H_2o$

ماء + ثلاثى أدينـوزين الفوسفـات + لاكتات ـــــ ثنائى أدينوزين الفوسـفات + فوسفات + جلوكوز.

فى المعادلة (١) الجلوكوز طاقته = ٤٧ كيلو كالورى

فى المعادلة (٢) الجلوكوز طاقته ٣٢,٤ كيلو كاورى

وبالنظر إلى المعادلة (٢) نجد أنها عبارة عن مجموعة عمليتين متصلتين ببعضهما، الأولى هى تكسير الجلوكوز إلى (٢) جزىء من حامض اللاكتيك. والثانية هى تكسير (٢) جزىء من مركب ATP تتكون من (٢) ADP + الفوسفات.



شكل رقم (٢٠)

تحلل الجلوكوز لاهوائيا إلى لاكتيك عن (لامب LAMB ١٩٨٤

العتبة الفارقة اللاهوائية: Anaerobic Threshold - AT

استخـدم مصطلح العتبة الفـارقة اللاهوائية «Anaerobic Threshold» AT فى مجال التدريب الرياضى للدلالة على حالة معينة من التعب يصل إليها اللاعب أثناء الأداء البدنى، وهذه الحالة تختلف من حيث توقيت ظهورها لدى اللاعـبين تبعا لحالتهم البدنية والوظيفية التى وصلوا إليها نتيجة عمليات التدريب المختلفة، وهى فى كل الأحوال تدل على زيادة الحمل البـدنى سواء كانت هذه الزيادة فى مكون أو أكثـر من مكونات الحمل البدنى، بمعـنى أن زيادة شدة الحمل البـدنى فقط يؤدى إلى ظهـور حالة العتـبة الفـارقة اللاهوائية، وكذلك الـزيادة فى حجم الحمـل البدنـى، كـما أن اختصار فـترات الراحة البـينية التى تقع بين تكـرارات الأداء تؤدى إلى ظهورها أيضـا؛ نظرا لأن قصـر فتـرات الراحة سوف يعيق عمليات الاستشفاء، وبالتالى تـتيح الفرصة لظهور حالة العتبة الفارقة اللاهوائية.

تناول والعديد من الباحثـين والمهتمين بمجال فسيولوجـيا التدريب الرياضى دراسة ظاهرة العتـبة الفـارقة اللاهوائيـة، وتعددت المفاهيم الخـاصة بهـا، فيعـرفهـا «أبو العلا ١٩٩٣م» بأنها ازدياد شدة الحمل البدنى الذى يزيد عندها معدل انتقال حامض اللاكتيك من العضلات إلى الدم بدرجة تزيد من معدل التخلص منه.

ويعرفها «ماتيوز وفوكس Mathewes & Fox ١٩٧٩م» بأنها شدة الحـمل البدنى أو استهلاك الأكسجين مع زيادة سرعـة التمثيل الغذائى اللاهوائى، أو هى «شدة الحمل البدنى الذى يزيد من نسـبة استـهلاك الأكسجين مع زيادة سـرعة التمـثيل اللاهوائى فى العضلات الإرادية مما يزيد من تراكم حامض اللاكتيك فى تلك العضلات. «وفى تعريف آخر لهم» هى اللحظات التى يتجمع فـيها حامض اللاكتيك بدرجة مضـاعفة أو أكثر من مضاعفة مما يؤخر فترة التخلص منه.

ويعرفها «لامب Lamb ١٩٨٤م» بأنها مستوى الحمل البدنى الذى يزيد عنده إنتاج الطاقـة اللاهوائية من خـلال نظام حامض اللاكـتيـك لزيادة تركيـزه بالدم «أو هى نقطة انكسار التهوية الرئوية».

مما سبق يتبين أن العتبة الفارقة اللاهوائية لها اتصال مباشر بحامض اللاكتيك وبالتمثيل الغذائى للخلايا العضلية وبالحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين.

ويعرف حامض اللاكتيك كيميائيا بأنه الناتج النهائى لعملية تحلل الجلوكوز بدون أكسجين، ويرمز له بالرمز «CH_3 - CHOH - COOH».

وعملية إنتاج حامض اللاكتيك تسمى Production of Lactic Acid ويرمز له بالرمز «RA» ويمكن معرفة معدل تركيزه بالدم لدى الفرد بالملليجرام / ١٠٠ ملليلتر دم، وهو عادة يتراوح فى الفرد العادى من ٨ - ١٢ ملليجرام/ ١٠٠ ملليلتر دم وقت الراحة، وفى مقابل إنتاج اللاكتيك تكون عملية التخلص منه أو إزالته، وتسمى Rat of Dissappearance ويرمز له بالرمز «RD» أما إذا استقر تركيز حامض اللاكتيك فى الدم فيرمز له بالرمز Ra = Rd بمعنى ثبات معدله بالدم وتسمى (Steady State).

يتضح من ذلك العلاقة التى تربط بين حالة العتبة الفارقة اللاهوائية وبين حامض اللاكتيك، وعلى ذلك فالعتبة الفارقة اللاهوائية هى مرحلة من مراحل الأداء البدنى لها مواصفات خاصة بكل لاعب ولها علاقة كبيرة بنظم إنتاج الطاقة اللاهوائية، ولها علاقة أيضا بكفاءة اللاعب البدنية وحالته التدريبية، وهى بالتالى تفرق بين لاعب وآخر فى القدرة على مواصلة الأداء أو الحمل البدنى، وهى من بين وسائل عديدة يمكن من خلالها الحكم على قدرات اللاعب الوظيفية والبدنية.

وقد توفرت لدى بعض العلماء والباحثين فى أمريكا وأوربا ممن يعملون فى مجال فسيولوجيا الرياضة العديد من الدلائل والمعلومات حول موضوع العتبة الفارقة اللاهوائية؛ وذلك من خلال الأبحاث والدراسات التى تمت فى هذا المجال، ومن بين هؤلاء «كونت وآخرين Connete, et al ١٩٨٣، ١٩٨٤م»، «بروكس وآخرين Brooks, et al ١٩٨٤م»، «هينجنهوزر وآخرين Heingenhauser, ١٩٨٣»، «دوجلاس Doug-las ١٩٨٨م» وقد خلص هؤلاء إلى ما يعرف بحالة العتبة الفارقة اللاهوائية وتسمى Anaerobic Threshold ويرمز لها بالرمز AT، وهى الحالة التى تعمل فيها الأنسجة العضلية لاهوائيا أثناء الجهد البدنى الأقل من الأقصى Submaximal، وعلى الرغم من

ذلك هناك بعض العلماء يرون أن حالة العتبة الفارقة اللاهوائية لا توجد فى الأنسجة العضلية الإرادية والدم أثناء الجهد البدنى الأقل من الأقصى، بل تكون فى الجهد الأقصى فقط Maximal ، ومعنى ذلك أن نظرية AT اختلف عليها العلماء من حيث توقيت ظهورها والجهد البدنى الذى يؤدى إليها.

كما تناول بعض الباحثين العلاقة بين الحمل الأقصى وتركيز حامض اللاكتيك فى الدم ويذكر «واسرمان وآخرون Waserman, et al ١٩٧٤م» أن زيادة حامض اللاكتيك فى الدم يكون نتيجة قيام الفرد بالتدريب عند معدل منخفض من الأكسجين Hypoxia، كما أن استخدام كلمة لاهوائى Anaerobic دليل على أن كمية الأكسجين كانت غير كافية لتكوين الطاقة اللازمة للأنسجة العضلية العاملة».

وعلى ذلك تصبح عملية التمثيل الحيوى للطاقة أثناء تدريبات التحمل والسرعة غير متساوية؛ نظرا لاعتماد تدريبات وسباقات التحمل على نظم إطلاق الطاقة الهوائية عن طريق الأكسجين، فى حين تعتمد تدريبات وسباقات السرعة على نظم إطلاق الطاقة اللاهوائية عن طريق المواد الفوسفاتية، وبالتالى تتأثر سرعة أو بطء ظهور حالة العتبة الفارقة اللاهوائية لدى هؤلاء اللاعبين بطبيعة كل مسابقة والتدريبات الفنية المرتبطة بها.

مما تقدم يتضح أننا أمام موضوع يستحق الدراسة وذلك للتأكد من صحة ما ذكره العلماء والباحثون من جهة ولدراسة العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوى للطاقة والعتبة الفارقة اللاهوائية من جهة أخرى، وذلك لأهمية هذا الموضوع فى مجال التدريب الرياضى وتأثيره على الأداء البدنى للاعبى الرياضات والمسابقات والألعاب المختلفة؛ نظرا لأن التنوع بين تلك الرياضات والمسابقات والألعاب لابد أن يقابله تداخل فى نظم إطلاق الطاقة الهوائية واللاهوائية، كما تختلف نسب مساهمة تلك الأنظمة أثناء التدريبات لطبيعة كل منها من حيث الشدة والحجم وفترات الراحة البينية.

وهذا ما دفع مؤلف هذا الكتاب (بهاء سلامة ١٩٩٣م) إلى إجراء دراسة بعنوان «العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوى للطاقة والعتبة الفارقة اللاهوائية لدى لاعبى التحمل والسرعة».

وتكونت عينة البحث لهذه الدراسة من ٢٣ لاعبا منهم ١٢ لاعبا يمارسون تدريبات وسباقات التحمل (١٥٠٠، ٣٠٠٠، ٥٠٠٠ متر) و١١ لاعبا يمارسون تدريبات السرعة (١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠ متر) وجميع أفراد العينة من لاعبى المنتخب الوطنى لألعاب القوى.

واستخدم المنهج التجريبى لعينة البحث وقيست المتغيرات الفسيولوجية التالية: (تركيز اللاكتات بالدم - معدل استهلاك الأكسجين - ضغط الدم - معدل النبض).

ولقياس العتبة الفارقة اللاهوائية استخدمت طريقة اختبار السير المتحرك (Treadmill Test) الذى وضعه هوجسن (Hughson ١٩٨٤) والذى يبدأ بسرعة ٦,٤ كيلو متر/ ساعة ثم تزداد السرعة كل ثلاث دقائق بمقدار ١,٦ كيلو متر/ ساعة، حتى تصل السرعة على التردميل إلى ١٤,٤ كيلو متر/ ساعة فى نهاية الاختبار عند الدقيقة الثامنة عشرة، كما تزداد زاوية ميل الجهاز بمقدار ٢٪ كل ثلاث دقائق.

أوضحت النتائج ما يلى:

- تحدث زيادة دالة معنويا فى معدل النبض بين لاعبى التحمل ولاعبى السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبى السرعة.
- تحدث زيادة دالة معنويا فى معدل ضغط الدم الانقباضى والانبساطى بين لاعبى التحمل ولاعبى السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبى السرعة.
- يحدث انخفاض دال معنويا فى تركيز اللاكتات بالدم بين لاعبى التحمل ولاعبى السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبى التحمل.
- تحدث زيادة دالة معنويا فى معدل الاستهلاك النسبى للأكسجين بين لاعبى التحمل ولاعبى السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبى التحمل.

- أثبتت النتائج أن حالة العتبة الفارقة اللاهوائية تظهر متأخرة لدى لاعبى التحمل.
- أثبتت النتائج أن حالة العتبة الفارقة اللاهوائية تظهر مبكرة لدى لاعبى السرعة.
- حالة العتبة الفارقة اللاهوائية لها اتصال مباشر بنظم إطلاق الطاقة الحيوية بدلالة معدل تركيز اللاكتات بالدم والاستهلاك النسبى للأكسجين وضغط الدم الانقباضى والانبساطى ومعدل النبض.
- يوجد ارتباط عكسى غير معنوى بين معدل الاستهلاك النسبى للأكسجين وتركيز اللاكتات بالدم لدى لاعبى التحمل.
- يوجد ارتباط عكسى معنوى بين معدل الاستهلاك النسبى للأكسجين وتركيز اللاكتات بالدم لدى لاعبى السرعة.
- كلما ارتفعت الكفاءة البدنية تأخر ظهور حالة العتبة الفارقة اللاهوائية والعكس صحيح.

قام «جونسن ومكدويل Johnson & Mcdowell ١٩٩١م» بدراسة عن الاستجابة الفسيولوجية عند مستهل الإجهاد، وكان الهدف منها هو تحديد معدل استهلاك الأكسجين واستجابة معدل ضربات القلب وتركيز حامض اللاكتيك بالدم عند بداية فترة الإجهاد مع تحديد الفترة الزمنية اللازمة لحدوث الإجهاد، واشتملت العينة على عشرة لاعبين بلغ متوسط العمر ٢١,٠ والطول ١٧٩,٧سم والوزن ٧٦,٩ كيلو جرام، واستخدم البساط المتحرك فى تلك التجربة.

تشير نتائج تلك الدراسة إلى أن مستوى الإجهاد حدث بعد الجرى لمسافة ١٤,٠٠٠ كيلو متر فى الساعة على البساط المتحرك حيث بلغ معدل القلب ١٩٧ ضربة/ دقيقة، وبلغ معدل استهلاك الأكسجين النسبى ٤٧,٥ ملليلتر/ كجم/ ق فى حين بلغ معدل تركيز حامض اللاكتيك بالدم ١٤,٤ مليمول/ لتر/ دم، وتوضح النتائج أن مستوى الإجهاد مرتبط بمعدل استهلاك الأكسجين وتركيز اللاكتات بالدم، كما أن الوصول إلى حالة الاجهاد يرتبط بسرعة الجرى وفترة دوامه.

في الدراســة التى أجـراها «جـاسـر وبروكس Gasser & Brooks ١٩٨٤م»، للتعرف على تأثير شدة التدريب على تركيـز حامض اللاكتيك بالدم باستخدام نوعين من الشدة، فعند الشدة المتوسطة «٥٠٪ من الـ Vo_2 Max» تبين أن معظم اللاكـتات الناتجة يتم التـخلص مـنهـا عن طريق الأكـسـدة وعند اسـتـخـدام شـدة أقل من القـصـوى «٧٥٪ من الـ VO2 Max» فإن معظم اللاكتات يتم إنتاجها بما يسمى Lactat Turnover حيث RT = Ra = Rd وتظل نسبة الزيادة فى معدل إنتاج حامض اللاكتيك مرتبطة بشدة التدريب وبالتالى بعملية التمثيل الغذائى.

تشيـر نتائج الدراسة التى أجراها «دونوفـان وآخرون Donovan, et al ١٩٨٣» للتعرف على نسبة الزيادة فى لاكتات الدم نتيـجة التدريب البدنى متوسط الشدة، أظهرت النتـائج أنه قد حـدثت زيادة فى مسـتـوى تركيـز لاكتـات الدم عند مسـتوى شـدة من ٦٠-٧٠٪ (من VO2 Max) وأن نسبة الزيادة فى إنتاجه تسـاوى نسبة الزيادة فى معدل إزالته أو التخلص منه، وتشير النتائج أيضا أنه عندما يزداد تركيز حامض اللاكتيك بالدم لدرجة تساوى خمـسة أضعاف نسبتـه فى حالة الراحة فإن التدريب عندئذ يعـتبر ذا شدة قصوى.

أجرى «لين ولاى Lien and Lai ١٩٨٢م» دراسة عن تركيز حـامض اللاكتيك فى الدم وفتـرة التخلص منه أثناء عـملية الاستـشفاء، وقـد أجريت الدراســة على عينة مكونة من «١٥» لاعبا بلغ متوسط أعـمارهم ٢١,٦ سنة، متوسط الوزن ٦٢,٧ كجم، متوسط الطول ١٧١,٠٠سم واسـتخدمت العينة اخـتبار «Bruce Protocol ١٩٧٣م» الجرى على البساط المتحرك Treadmill لمدة ٦٠ دقيقة، وتم قياس المتغيرات الفسيولوجية التالية: لاكـتات الدم، معدل ضربات القلب، أقـصى استهلاك للأكسجين، وتم مـتابعة تلك المتغيرات كل «٥» دقائق حتى «٦٠» دقيقة، أظهرت النتائج أن أقصى معدل للقلب بلغ ١٩٦ ضـربة / دقـيـقـة، وأقـصـى مـعـدل نسـبى لاسـتـهـلاك الأكـسـجين ٦٧ ملليلتر/ جم/ ق، تركـيز حامض اللاكتـيك بالدم ١٣,٢ مليمول / لتر دم، وعـن الفترة اللازمة للتخلص من حامض اللاكتـيك أثناء عملية الاستشفاء تم متابعـة معدل اللاكتات بالدم خلال ٥, ١٠, ١٥, ٢٠, ٣٥, ٤٥ دقيقة حيث بلغ تركيزه بالدم ١٢,٨ ، ١٢,٧ ، ١١,٣، ٩,٩ ، ٧,٢ ، ٤,٤ مليمول/ لتر دم على الترتيب».

قـام «بدرسن Pedersen ١٩٨٢م» بدراسـة للتعـرف على العـلاقة بين أقـصى استـهلاك للأكسـجين وبين تركيز حـامض اللاكتيك بالدم عنـد أداء حمل بدنى أقل من الأقـصى، واشتـملت عينة الدراسـة على ٥٠ فـرد بلغ متـوسط أعمـارهم ٢٧,٢ سنة ومتوسط الطول ١٨١سم ومـتوسط الوزن ٧٠,١ كيلو جرام واستخـدم الباحث العجلة الثابتة Ergometer بحمل ٢١٠ وات وبسـرعة تبديل ٦٠ لفة/ دقـيقة، واستمـر العمل على العجلة الثابتة لمدة ٢٠ دقيقة، وأجـريت التجربة فى الصباح دون تناول أفراد العينة أى طعام، أظهـرت نتائج الدراسة أن مـعدل أقصى استـهلاك نسبى للأكـسجين بلغ ٥٦ ملليلتر/ كجم/ دقيقة، بينما بلغ تركيز حامض اللاكتيك بالدم ١٢,٥ مليمول/ لتر دم.

أجرى «كارلسون وآخرون Karlesson, et al ١٩٨٢م» دراسة عن استجابة ضغط الدم الانقباضى وزيادة لاكتات الدم أثناء التدريب البدنى لدى الرياضيين وغير الرياضيين، وتكونت العـينة من ٥٠ فـردا منهم ٣٤ لا يمارسون الـتدريب الرياضى، و٢٦ يمارسـون التدريب الرياضى، وبلغ مـتوسط العمـر ٣٧ سنة ومتوسط الطول ١٧٨ سم ومـتوسط الوزن ٧٢كجم، واسـتخـدمت العجلة الثـابتة بحمل بدنـى ٢٥ وات يزداد كل ٤ دقائق ٢٥وات، وحدد المتـغيـرات الفسيـولوجيـة في ضغط الدم الانقبـاضى، معـدل ضربات القلب، تركيز حامض اللاكتيك بالدم، أثبتت النتائج أن الحمل البدنى أدى إلى زيادة فى المتغيرات الفسيولوجية قيد البحث لدى الرياضيين حيث وصل ضغط الدم الانقباضى إلى ١٩١مم/ زئبق، ومعدل ضربـات القلب ١٥٤ ضربة/ دقيقة، وتركيز حـامض اللاكتيك بالدم ١٤٥ مليجرام ٪، بينمـا بلغت الزيادة فى تلك المتغيرات لدى غـير الرياضيين إلى: وصل معدل ضغط الدم الانقبـاضى إلى ٢١٠مم/ زئبق، معدل ضربات القلب إلى ١٦٨ ضربة / دقيـقة، وتركيز حـامض اللاكتيك بالدم ١٦٤ مليجـرام٪، وأفادت الدراسة أن تأثير الجـهد البدنى عـلى الرياضيين مقـارنة بغير الرياضـيين أقل من ناحيـة ضغط الدم، معدل ضـربات القلب، تركيز اللاكتـيك بالدم، مما يؤكد دور الممارسة فـى تحسين الحالة الوظيفية لدى الرياضيين.

يشير «هوجس Hughes ١٩٧٩م» إلى أن معدل تركيز اللاكتات بالدم يزداد بزيادة شدة التدريب وتصاحب، تلك الزيادة زيادة فى معدل الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين أكثر من معدل شغل بدنى متوسط أو منخفض».

كما أثبتت معظم الدراسات التى تناولت دراسة العلاقة بين زيادة تركيز حامض اللاكتيك بالدم والتدريب الرياضى أنه توجد علاقة ذات دلالة معنوية بين T (Vent) أى انكسار التهوية الرئوية وبين T (Lact) أى تكوين اللاكتات بالدم أثناء العمل البدنى، وترجع أسباب العلاقة بين انكسار التهوية الرئوية وتجميع اللاكتات بالدم إلى العلاقة التى تربط استهلاك الأكسجين بالتهوية الرئوية، لأنه تحدث زيادة فى استهلاك الأكسجين والتهوية الرئوية أثناء الحمل البدنى حتى يصل معدل القلب إلى حوالى ١٥٠ ضربة/ دقيقة، ثم يزداد معدل القلب وكذلك استهلاك الأكسجين لدرجة يصل فيها معدل القلب إلى ١٧٠ ضربة / دقيقة، وعندما يزداد تركيز حامض اللاكتيك بالدم بدرجة تفوق القدرة على التخلص منه.

وتشير نتائج الدراسة التى قام بها «واسرمان وآخرون Wasserman, et al ١٩٦٤م» أن زيادة حامض اللاكتيك بالدم تكون نتيجة قيام الفرد بالتدريب عند معدل منخفض من الأكسجين وأن استخدام كلمة لاهوائى دليل على أن كمية الأكسجين كانت غير كافية لتكوين الطاقة اللازمة للعضلات العاملة، وبالتالى فهى تحتاج إلى الأيض الهوائى.

ويشير (شفرد وآخرون Sheperd, et al ١٩٨١) إلى وجود أعضاء حسية طرفية سماها إرجوسبتور (Ergoreceptors) أى المستقبلات، وهى تزيد من نشاط الجهاز الدورى المركزى (Central Circulation) مما يزيد من تمدد الأوعية الدموية الطرفية، كما أضاف أن هذه المستقبلات تتفاعل مع كل من زيادة تركيز البوتاسيوم، نقص PH الدم لاكتات الدم.

ويذكر (كارلسون وآخرون KARLESSON, et al ١٩٨٢ عن حامض اللاكتيك وتنشيطة للعوامل السابقة (PH)، (تركيز البوتاسيوم) أى نقص كمية الأكسجين قد يؤدى

إلى زيادة تركيـز اللاكتـيك وتنشيط الجـهاز السمـبثاوى (زيادة الإدرنـالين) وزيادة ضغط الدم، ويضيف أيضا أنه توجد علاقة بين زيادة مستوى ضغط الدم ونوع العضلات الغنية بالألياف السريعة.

نستنتج مما سبق أن هناك علاقة بين كل من:

- زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه زيادة فى ضغط الدم.

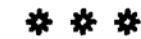
- زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه تمدد الأوعية الدموية الطرفية.

- زيادة تركيز اللاكتيك يصاخبه زيادة نشاط الجهاز السمبثاوى.

- زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه زيادة فى مستوى تركيز البوتاسيوم.

- زيادة تركيز اللاكتيك يصابحه نقص فى معدل (PH).

وهذه العوامل تؤدى إلى قلة تشبع الهيـموجلوبين بالأكسجين مما يؤدى إلى نقص كمية الأكسجين الواردة للعضلات فيتسبب عنه التعب العضلى.





الفصل التاسع

عمليات الاستشفاء



- مقدمة:
- تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات.
- سرعة تكوين الفوسفات.
- طاقة تجديد الفوسفات.
- تجديد مخازن الجليكوجين بالعضلات.
- جليكوجين الكبد والعضلات.
- سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين.
- امتلاء المايوجلوبين بالأكسجين.
- امتلاء مخازن أوكسيمابوجلوبين.
- الأوكسيما يوجلوبين والدين الأكسجيني.
- التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم.
- سرعة التخلص من حامض اللاكتيك.
- تأثير التمرينات على التخلص من حامض اللاكتيك.
- فترات الاستشفاء في التدريب الرياضي.
- مستخلص عمليات الاستشفاء.

* * *

عمليات الاستشفاء: Recovery Process

المقدمة:

يعتبر علم فسيولوجيا التدريب الرياضى (Exercise Physiology) أو فسيولوجيا الرياضة (Sports Physiology) من العلوم الأساسية الهامة فى مجال الرياضة والتدريب الرياضى، وقد أسهم هذا العلم مع غيره من العلوم فى تطوير طرق التدريب وتقنين أحماله لتكون أكثر ملاءمة لقدرة الجسم على تحمله والاستفادة من تأثيراته الإيجابية وتجنب التأثيرات السلبية على الحالة الوظيفية والصحية للرياضي، وقد دلت نتائج الدراسات العلمية على أن تشكيل حمل التدريب دون دراسة تأثيراته الفسيولوجية على أعضاء وأجهزة الجسم يؤدى فى كثير من الأحيان إلى الإصابات الرياضية والمشكلات المرضية التى تظهر خلال الموسم الرياضى.

ويعد علم فسيولوجيا التدريب الرياضى أحد العلوم الهامة الذى يعطى وصفا وتفسيرا دقيقا لمختلف التغيرات الناتجة عن أداء التدريب لمرة واحدة أو لعدة مرات بغرض تحسين استجابة الجسم وأن الكشف عن تلك الاستجابات له أهميته فى هذا المجال، فإذا كان الهدف هو وصف وتفسير تلك التغيرات الفسيولوجية عند أداء الحمل البدنى لمرة واحدة فإننا نطلق على تلك التغيرات مصطلح الاستجابات (Responses) وهى تغيرات مؤقتة فى وظائف الجسم نتيجة الحمل البدنى، وتختفى تلك التغيرات بانتهاء الحمل البدنى ومن أمثلة هذه الاستجابات زيادة معدل ضربات القلب وزيادة معدل التنفس وغير ذلك، أما إذا تكرر الحمل البدنى عدة أسابيع أو شهور فإن التغيرات المصاحبة لهذا الحمل يطلق عليها مصطلح التكيف (Adaptation) وتتميز عن الأولى فى أنها تساعد الجسم على أداء الحمل البدنى بسهولة أكبر ومقدرة أعلى، ولا يتحقق التكيف إلا بعد مرور فترة كافية من التدريب المنتظم، ومن أمثلة هذا التكيف نقص فى معدل ضربات القلب وقت الراحة.

وتعد عملية الاستشفاء (Recovery) «أو الاسترداد» بعد أداء التدريب البدنى فى غاية الأهمية لجميع الرياضيين وهى تشغل المهتمين فى هذا المجال، مما دفع العديد من الباحثين إلى إجراء الدراسات المتعلقة بهذا الموضوع، وكان فى الماضى من غير المألوف أو المعتاد التدريب يوميا وكان من غير المألوف أيضا وضع برامج تدريبية مختلفة للاعبى

الفريق الواحد فى الألعاب الجماعية مثلا على اعتبار أن الفريق كان يخضع لبرنامج تدريبى واحد وأن برامج التدريب الفردية تخص لاعبى الألعاب الفردية فقط، وكان متبعا أيضا أن يكون بين كل يوم تدريبى يوم راحة ولم يكن علم التدريب الرياضى قد وصل إلى ما هو عليه الآن.

وبعد التقدم الذى طرأ على علم التدريب الرياضى فى الآونة الأخيرة والتطور فى أساليب قياس وتقويم النواحى البدنية والوظيفية وتسجيلها فى حالة الراحة وأثناء أداء الحمل البدنى وانتشار طرق قياس الكفاءة البدنية فى الظروف المعملية والطبيعية مما ساعد فى الكشف على الإمكانات الوظيفية لأجهزة الجسم، وبعد التطور السريع فى علوم الطب الرياضى وفسيولوجيا التدريب الرياضى أصبحنا نرى فى هذا العصر العديد من الفرق الرياضية الجماعية والفردية تتدرب لأكثر من مرة فى اليوم الواحد حيث وصلت عدد الوحدات التدريبية الأسبوعية إلى حوالى من ١٥-٢٦ مرة، وقد أشار ذلك فى البداية دهشة واستغراب كثير من العاملين فى مجال التدريب الرياضى.

وبمتابعة نتائج المسابقات «أزمنة - مسافات - ارتفاعات» التى كانت تسجل منذ عشرين سنة تقريبا فى الألعاب الفردية ومقارنتها بالنتائج التى تسجل حاليا نلاحظ الفارق الكبير بينهما، وبالنظر إلى طرق وخطط اللعب فى الألعاب الجماعية نلاحظ الفارق فى تلك الطرق والخطط مما زاد من سرعة الأداء وفاعليته، وينطبق ذلك على جميع الرياضات والمنازلات؛ الأمر الذى أدى إلى فروق جوهرية بين ما كانت عليه نتائج الماضى ونتائج العصر الحالى، ويرجع الفضل فى ذلك إلى اعتماد علم التدريب الرياضى على العلوم المختلفة التى تخدم الأداء الرياضى مما ساعد فى تطوير قدرات اللاعبين، الأمر الذى انعكس إيجابيا على كفاءتهم البدنية والوظيفية.

وكان من بين العوامل الهامة التى ساعدت على تطوير طرق التدريب الرياضى وتقنين أحمال التدريب الاهتمام بعمليات الاستشفاء أو الاسترداد «Recovery Pro-cess» بعد الجهد البدنى، وهذا مادفع كثير من الدارسين والباحثين إلى إجراء الدراسات الخاصة بهذا الموضوع للتعرف على تأثير أنواع الأحمال التدريبية على مخازن الطاقة بالدم والعضلات والتى تؤثر على مقدرة اللاعب واستمراره فى الأداء.

أجريت بعض الدراسات العربية فى هذا المجال واقتصرت على تناول عمليات الاستشفاء من خلال تتبع معدل بعض المتغيرات الفسيولوجية حتى تعود لحالتها أثناء الراحة مثل معدل سرعة القلب Heart Rate ، النبض الأكسجينى Oxygen Pulse، معامل التهوية الرئوية The Ventilatory Equivalent، ضغط الدم Blood Pressure وغيرها من المتغيرات التى يستدل منها على عودة معدلها إلى ما كانت عليه قبل بذل الجهد البدنى.

بينما تناولت بعض الدراسات الأجنبية عملية الاستشفاء على أساس تعويض مصادر الطاقة بالعضلات والدم على اعتبار أن مخزون الطاقة يمثل حجر الزاوية فى عملية الاستشفاء وعليه يتأسس قدرة اللاعب أو عدم قدرته على تكرار التدريب، ومن ثم تتحدد الفترات الزمنية اللازمة للاستشفاء بين وحدات التدريب المختلفة، وكذلك نظام تغذية اللاعبين بعد التدريب والتى تسهم فى سرعة تعويض مصادر الطاقة بالدم.

تشير نتائج عديد من الدراسات التى أجريت إلى أن الأجهزة الحيوية تختلف فى طريقة استعادة الاستشفاء لتعبر عن مستوى الكفاءة الوظيفية للفرد، حيث تقل زيادة نسبة التنفس خلال فترات استعادة الاستشفاء لدى لاعبى الجمباز «الدرجة الأولى» عن «الدرجة المفتوحة» وأنه خلال الدقيقة الثانية والثالثة من الاستشفاء وصلت نسبة التنفس لدى لاعبى الدرجة الأولى إلى متوسط ١,٠٤ واستمر التناقص بعد الدقيقة الثالثة من فترة الاستشفاء حيث بلغ ٢,٩٥ وأن وصول اللاعب لمستوى أكثر من ١,١ بعد نهاية الدقيقة السادسة من فترة الاستشفاء يعتبر مؤشرا على ضعف الكفاءة الوظيفية، كما أشارت النتائج إلى قلة زيادة معدل سرعة النبض لدى لاعبى الدرجة الأولى عنه لدى لاعبى الدرجة المفتوحة خلال مراحل استعادة الاستشفاء.

وفى دراسة سيرا وآخرين «Serra, etal ١٩٩٤ عن التداخل والتكامل لبعض القياسات الفسيولوجية خلال الأداء البدنى فى فترة الاستشفاء أسفرت نتائج الدراسة عن وجود علاقة إيجابية بين القيم المحسوبة والقيم المتوقعة للمتغيرات الفسيولوجية خلال الأداء البدنى وخلال فترة استعادة الاستشفاء لدى عينة البحث.

ويشير كل من علاوى، أبو العلا ١٩٨٤ إلى أن مخزون الفوسفات يتم تعويضه خلال فترة قصيرة تقدر بحوالى ٣-٥ دقائق، كما يستغرق التعويض الكامل لمخزون

الجليكوجين عـدة أيام، ويعتـمد ذلك على نوع النشـاط البدنى وكـمية الكربـوهيدرات المستهلكة خلال فترة الاستشفاء وبالنسبة لسرعة التخلص من حامض اللاكتيك فقد دلت نتائج الدراسات أن عدة ساعات تكفى لإزالة معـظم حامض اللاكتيك بعد أداء التدريبات ذات الشدة القصوى، ومن العوامل التى تزيد من سـرعة التخلص من حامض اللاكتيك أداء تمرينات بدنية خفـيفة خلال مرحلة الاستـشفاء وتسمى بتمـرينات التهدئة أو تمرينات الاستشفاء.

ويذكر فوكس «Fox» ١٩٧٠، «ماتيوز» «Mathews» ١٩٨١ أن نوع التمـرينات البدنية له ارتباط كبـير بعمليات الاستشفاء حيث ثبت أن التـمرينات الشديدة دون فترات راحة كـافية تؤخر من سلـسلة تجديد الفوسفـات وسرعتـه بينما التمـرينات المتوسطة مع فترات الراحة الكافـية تساعد على تجديد الفوسـفات، وأثبتا أيضا أن التمـرينات المستمرة لمدة سـاعتين أدت إلى خـفض نسبـة الجليكوجين بالعـضـلات لدرجة كـبيـرة أثناء فتـرة الاستـشفاء واختلـفت سرعة امتـلاء العضلات بالجليكوجـين بناء على نوع الغذاء الذى يتناوله اللاعب عقب الأداء مباشرة.

ويشير ديفريس «Devries» ١٩٨١ إلى تعدد مراحل استعادة الاستشفاء حيث فى العمل البدنى البسيط تكون فترات الاستشفـاء مبكرة تنتهى خلال دقائق، بينما تستمر بعد العمل البدنى المتوسط لبضع ساعات وتكون المرحلة المتأخرة للاستشفاء بعد الحمل البدنى الشديد والتى تتعدى بضعة أيام، وأن هناك اختـلافا فى وظائف الأجهزة الحيوية بالجسم وفى مستوى استعادتها للاستشفاء من حيث انخفاضها وارتفاعها.

ولما كانت فـترة الاستشـفاء «الاسترداد» بعـد الجهد البدنى ضـرورية ولازمة لكى تعود فـيها أجهـزة الجسم إلى الحالة الطبيـعية ليـتم تعويض المخزون من مصـادر الطاقة بالعضلات والدم فهى بذلك تعتبر وسيلة هامة لتقويم الكفاءة الوظيفية للفرد الرياضى من خلال سرعة العودة إلى مستوى ما قبل بذل الجهد البدنى.

وللاستفادة من عمليات الاستشـفاء فى مجال التدريب الرياضى نطرح التساؤلات التالية:

(١) ما هى الحقائق العلمية الخاصة بعملـيات الاستشفاء لبعض مواد الطاقة بالدم والعضلات بعد أداء الجهد البدنى؟

(٢) كيف يمكن الاستفادة منها فى عمليات التدريب البدنى لتحسين القدرات البدنية والوظيفية للرياضيين؟

وسوف نتناول تحليلا نظريا للإجابة على التساؤلين السابقين من خلال الأبعاد الأربعة التالية:

البعد الأول: تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات:
Restoration of Muscles Phosphagen Stores:

البعد الثانى: تجديد مخازن الجليكوجين بالعضلات:
Restoration of Muscle Glycogen Stores:

البعد الثالث: امتلاء المايوجلوبين بالأكسجين:
Replenishment of Myoglobin and Oxygen:

البعد الرابع: التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم:
Removal of Lactic Acid From Muscle and Blood:

وكل بعد من تلك الأبعاد يشتمل على عدة نقاط فرعية تسهم بدرجة معينة فى زيادة قدرة الفرد الرياضى على بذل الجهد البدنى، كما يؤثر أيضا فى تشكيل برامج التدريب اليومية والأسبوعية على مدار الموسم الرياضى.

البعد الأول: تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات:

Restoration of Muscle Phosphagen Stores:

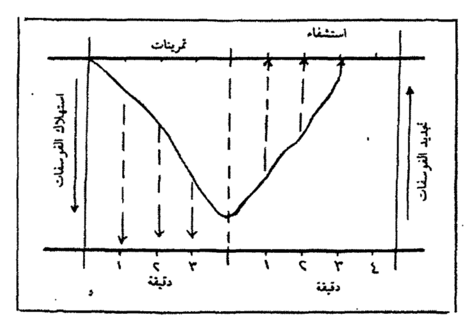
يوجد فى خلايا الجسم مركب كيميائى يسمى ثلاثى أدينوزين الفوسفات «Adenosin Triphosphate» ويرمز له بالرمز (ATP) ويتكون من المواد الكربوهيدراتية والبروتينية بالإضافة إلى المجموعة الفوسفاتية، وتقوم خلايا الجسم بوظائفها اعتمادا على الطاقة الناتجة عن انشطار هذا المركب الكيميائى حيث يؤدى انشطار أحد مكونات المجموعة الفوسفاتية إلى إنتاج كمية من الطاقة ليصبح المركب بعد ذلك ثنائى الفوسفات «Adenosin Diphosphate» ويرمز له بالرمز (ADP) إلا أن كمية (ATP) المخزون فى العضلة قليل جدا ولا تكفى لإنتاج طاقة تتعدى بضعة ثوان، ولذلك فإنه يتم بصفة مستمرة إعادة بناء (ATP) وعند ذلك تتحرر كمية من الطاقة تعمل على استعادة بنائه مقابل انشطار فوسفات الكرياتين (PC).

ويؤدى النظام الفـوسفـاتى إلى زيادة الطاقـة بالعضـلات الإرادية خلال الثـوانى الأولى من النشاط البدنى وعملية التجديد والبناء لمركبات الفوسفات معقدة ومركبة وهى تؤثر فى الأداء وتتأثر به وهى فى غاية الأهمية لجميع الرياضيين.

ويختلف مقدار الـفوسفات لدى الرجال والنساء حيث يبـلغ مقداره لدى الرجال حوالى ٦, ٠ مول. بينما لدى النساء حوالى ٣, ٠ مول.

سرعة تكوين الفوسفات: Speed of Phosphagen Replenishment

يذكر كـل من برجسـتروم «Bergstrom ١٩٨١»، سـالتين «Saltine» ١٩٦٧، وفوكس، «Fox ١٩٧٠» أن ممارسة التمرينات البدنية أدت إلى انخفاض معدل ATP بعد العمـل لمدة ثلاث دقائق، وبملاحظة تركـيز الفـوسفات اتـضح أنه يزداد مرة أخـرى بعد التوقف عن العمل وخلال فترة الاستشفـاء حيث يصل إلى قمته بعد مرور حوالى ثلاث دقائق، وبعد تلك الفترة يكون تركيز الفـوسفات بالعضلات قادرا على إطلاق الطاقة مرة أخرى عند قيام اللاعب بالأداء مرة ثانية.



شكل رقم (٢١) سرعة تكوين الفوسفات بعد التمرينات

والحقيقة أن عملية تجديد الفوسفـات تسير بإيقاع سريع جدا كل ثانية تقريبا، وقد تم قياس سـرعة التجديد واتضح أن الثوانى الأولى هـى التى تكون فيها سرعـة التجديد

أعلى بكثيـر من الفترات التاليـة لها، ومعنى ذلك أن عـملية التجديد عـبارة عن سلسلة متتالية ومعقدة، وتختلف النسبة حسب الوقت، أى يختلف تركيز الفوسفات بمخازنه تبعا للوقت المنقضى بعـد أداء التمرينات، وعلـى ذلك فإنه عند تكرار التدريب يجب مـراعاة هذه الناحيـة، أى أن تتحـدد فترات الراحـة البينيـة بناء على ذلك، وخلاصـة ذلك فإن عمليـة تجديد الفـوسفات بعـد التمـرينات تبلغ حوالى ٥٠٪ خلال ٣٠ ثـانية من وقت الاستشـفاء ثم تزداد إلى ٧٥٪ خلال ٦٠ ثانيـة من وقت الاستشفـاء وتصل إلى حوالى ٩٨٪ خلال ثلاث دقائق بعد الانتهاء من التمرينات.

والجدول التالى (٨) يوضح سرعة تجديد الفوسفات ونسبته المئوية

وقت الاستشفاء	تكوين الفوسفات بالعضلات
أقل من ١٠ ثوان	قليل جدا
٣٠ ثانية	٥٠٪
٦٠ ثانية	٧٥٪
٩٠ ثانية	٨٧٪
١٢٠ ثانية	٩٣٪
١٥٠ ثانية	٩٧٪
١٨٠ ثانية	٩٨٪

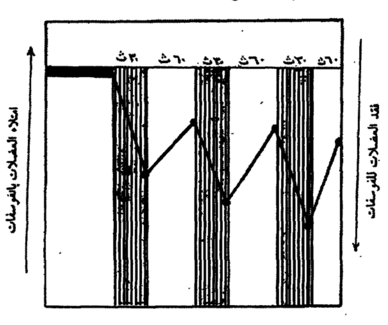
وترتبط عملية الاسترداد بنوع التمرينات حيث أثبت كل من فوكس «Fox» ١٩٧٠ دريسندورفر «Dressendorfer» ١٩٩١ أن التمرينات الشديدة المتتـالية دون فترات راحة كافية تـؤخر من سلسلة تجديد الفوسفات وسـرعته، بينما التمـرينات المتوسطة والتى بها فترات راحة كافية تساعد على تجديد الفـوسفات، ويعتقد البعض أن تنظيم فترات الراحة تحسن من سلسلة تجديد مخازن الفوسفـات الذى يعتبر من المواد الرئيسية التى تؤثر على مقدرة العضلات على الاستمرار فى بذل الجهد وهو يؤثر فى عمليات ظهور التعب حيث يعمل على تأخير ظهوره، وكلما تمت العنـاية بفترات الراحة بين تكرارات العمل العضلى أدى ذلك إلى إعادة تجديد مخـازن الفوسفات فى العضلات الإرادية حـيث توجد علاقة

بين عملية فـقد وامتلاء العضلات بالفـوسفات، وهذه العلاقة تتأثر بفـترات الراحة التى تعقب الأداء العضلى.

تشير الدراسـة التى أجراها «هوش وآخرون» Housh, etal ١٩٩٢ حول عملية فقـد «Depletion» وعـمليـة ملء «Repletion» العـضلات بالفـوسفـات فى غضـون التمرينات المتقطعة، حيث استخدم الباحث جهدا بدنيا على العجلة الأرجومترية لمدة ٣٠ ثانيـة ثم أعقـبها راحـة بينيـة لمدة ٦٠ ثانية فـقط، وكانت النتـيجـة هى استـمرار فـقد الفوسفات؛ نظرا لأن فترات الراحة البينية لم تكن كـافية لعملية إعادة تكوين الفوسفات بالعضلات.

طاقة تجديد الفوسفات: Energtics of Phosphagen Replenishment

يشير هيرمانسين «Hermansen» ١٩٦٧، أستراند «Astrand» ١٩٦١، كارلسون «Karlesson» ١٩٧١ إلى أن عـمليـة تجـديد الفـوسـفـات بالعـضـلات والمتـمـثلة فى ATP + PC خلال فترات الاستشفاء من الـتمرينات البدنية تتطلب قدرا من الطاقة لإتمام عمليـات التجديد، وهذه الطـاقة تستـمد من أكثـر من جزء من نظام الأكسـجين الخاص بعـملية تكسـير وتحلل المواد الكربوهيـدراتية والدهـنية وتتم هذه العـملية مـرتبطة بنظام حامض اللاكتيك الذى يتطب قدرا من الطاقة.



شكل رقم (٢٢) يوضح فقد وامتلاء العضلات بالفوسفات

ويلاحظ أن جزءا من ATP يتم إنتاجه من مخازنه مباشرة فى العضلات وبعضه الآخر يتكسر مع الطاقة التى تطلق متأخرة قليلا والتى تستخدم فيها مركبات فوسفات الكرياتين PC، حيث لا يستمد طاقته من المواد الغذائية مباشرة مثلما تحدث لمركب ATP أثناء فترة الاستشفاء حيث ينتج مباشرة من العضلات، بينما مركب PC أثناء فترة الاستشفاء ينتج بواسطة نظام الأكسجين ونظام حامض اللاكتيك.

ويتأثر الأكسجين اللازم لتجديد مركبات الفوسفات بنسبة استهلاكه فى الفترات المبكرة من فترة الاستشفاء، وجميعنا يلاحظ ذلك حيث يزداد التنفس فى عمقه وتكراره بعد الانتهاء مباشرة من التمرينات البدنية ثم يقل تدريجيا مع طول فترة الاستشفاء، وهذا فى حد ذاته يساعد على تجديد مركبات الفوسفات كرياتين.

هذه الزيادة فى عمق وتكرار التنفس يتبعها زيادة فى استهلاك الأكسجين، وهذا ما يطلق عليه الدين الأكسجينى Oxypen debt السريع؛ نظرا لأن الفترة التالية لهذه الفترة تعرف أيضا بالدين الأكسجينى ولكنها تكون أبطأ وفيها يعاد تجديد مركبات أخرى، وفيها أيضا يتم تخليص الجسم من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم، وتجدر الإشارة إلى أن ما نقصده بزيادة عمق وتكرار التنفس هو الزيادة فى معدل التنفس «Rate» وعمقه «Depth» وعدد ضربات القلب «Heart Rate» وكذلك كمية الدم المدفوعة «Cardiac Output» ودرجة حرارة الجسم «Body Temperature».

البعد الثانى: تجديد مخازن الجليكوجين بالعضلات:

Restoration of Muscle Glcogen Stores:

يقوم الجليكوجين بدور هام فى العضلات عند بذل الجهد البدنى مختلف الشدة حيث تتأثر الممارسة، وبذل الجهد على توافر الجليكوجين بالعضلات، ويعتبر الجليكوجين Glycogen المادة الكربوهيدراتية التى يخزنها الإنسان لوقت الحاجة وهو يتواجد فى الكبد والعضلات.

- جليكوجين الكبد والعضلات: Muscle and liver Glycogen

يشير لامب «Lamb» ١٩٨٤ إلى أن الجليكوجين يوجد فى الكبد والعضلات بنسب مختلفة حيث تبلغ كميته فى الكبد حوالى ١٢٠، جرام بينما يصل إلى ٣٥٠ جرام داخل العضلات، وعلى ذلك تكون نسبته فى العضلات أعلى من الكبد، وجليكوجين الكبد يعتبر مصدرا رئيسيا من مصادر الجلوكوز بالدم حيث يتحول الجليكوجين إلى جلوكوز بسبب بعض التفاعلات الكيميائية الخاصة بالكبد، ويلاحظ أن الجليكوجين الموجود فى العضلات يتحول إلى حامض اللاكتيك Lactic acid فى حالة الأكسدة اللاهوائية Anaerobic بينما فى الكبد يتحلل الجليكوجين بفعل عمليات كيميائية إلى حامض البيروفك «Pyruvic acid».

- سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين:

Speed of Muscle Glycogen Replenishment:

فى خلال الثلاثين سنة الأخيرة أجريت عدة دراسات عن هذا الموضوع وهى تعكس الاهتمام الكبير حول كيفية امتلاء مخازن الجليكوجين وسرعته والعوامل التى تؤثر بصورة مباشرة وغير مباشرة على ذلك.

ويشير كل من استراند «Astrand» ١٩٦١، سالتين «Saltine» ١٩٦٧ كارلسون «Karlesson» ١٩٨٢، توماس «Thomas» ١٩٩٢ فى دراساتهم حول هذا الموضوع أن هناك عدة عوامل تؤثر فى معدل ومقدار كمية جليكوجين العضلات أثناء ساعات الاستشفاء من التمرينات البدنية، وقد تحددت أهم هذه العوامل فى نوع الغذاء الذى يتناوله اللاعب بعد ممارسة التمرينات البدنية وشدة وحجم التمرينات التى يؤديها، وهذا يشير إلى أن برامج إعداد اللاعبين سواء فى نوعية التدريبات أو فى برامج الغذاء تؤثر بشكل مباشر فى قدرته على الاستمرار فى بذل الجهد البدنى سواء عند التدريب أو أثناء المنافسات، وهى أيضا تعكس أهمية إلمام المدرب بالأسس العلمية التى يجب أن تتبع فى

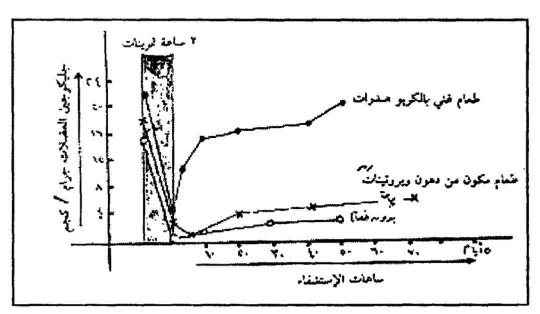
هذا الموضوع، ويجب الأخـذ بها واتباعـها لكى تساعـد اللاعب فى رفع مسـتواه البدنى والمهارى.

وقد اتفقت الدراسات الحديثة (كارلسون Karlessom ١٩٧٢، توماس Thomas ١٩٩٧) على أهمـية الغذاء فـى سرعة امـتلاء العـضلات بالجليكوجين بـعد التمـرينات البدنية، وقد أجريت تجربة وهى عبارة عن أداء تمرينات لمدة ساعتين وتتصف بالاستمرارية «هوائية» حـيث تعمل على خـفض نسبة الجليكوجين بـالعضلات لدرجـة كبيـرة، وبعد الانتـهاء من التـجربة وأثنـاء ساعـات الاستـشفـاء اختلـفت سرعـة امتـلاء العضـلات بالجليكوجين بناء على نوع الغـذاء الذى تناوله اللاعبـون عقب الأداء مـباشـرة، وأثبتت النتائج أن مـجموعة اللاعـبين التى تناولت كربوهيدرات كـافية بعد التـمرينات أدت إلى امتلاء العضلات بالجليكوجين بعد ٤٨ ساعة فقط، بينما المجموعة التى تناولت بروتينات ودهون بعد التمرينات لوحظ عدم امتلاء عـضلاتهم بالجليكوجين بعد نفس الفترة الزمنية (٤٨ ساعـة) فى حين أن المجموعـة الثالثـة من اللاعبين لم تتناول أى طعـام، وقد أدى ذلك إلى ضعف شديد فى تركيز الجليكوجين بعـضلاتهم، وقد أجريت هذه التجربة على لاعبى رياضـات وألعاب مـختلفـة إلا أن النتائج كانـت متقـاربة فيـما يتعلق بـاستنزاف الجليكوجين وسرعة امتلاء العضلات به، وقد خلصت نتائج الدراسات التى أجريت عن هذا الموضوع إلى التالى:

- تقل الفـترة الزمنيـة اللازمة لامـتلاء العـضلات بالجليكوجين فى حـالة تناول اللاعبين كربوهيدرات بصورة مركزة.
- تزداد الفـترة الـلازمة لامـتـلاء العضـلات بالجليكوجين فى حـالة عـدم تناول اللاعبين مواد كربوهيدراتية مناسبة.
- المفقود من جليكوجين العضلات يعاد امتلاؤه مرة ثانية بانتظام بعد مرور خمسة أيام إذا لم يتناول اللاعب كربوهيدرات بصورة كافية.

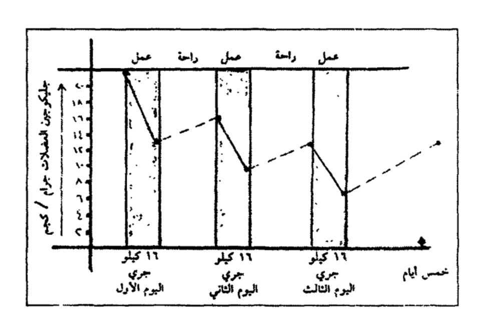
- فى حـالة تناول كمـيات مـضاعـفة من الكربوهيـدرات يتم امتـلاء العـضلات بالجليكوجين بعد ٢٤ ساعة.

- يكون امتلاء العضلات بالجليكوجين سريعـا جدا فى العشر ساعات الأولى من عملية الاستشفاء.



شكل رقم (٢٣) تأثير أنواع الطعام على الجليكوجين

ومن بين أهم الدراسات التى أجريت حول هذا الموضـوع ما ذكره فوكس «Fox» ١٩٧٠ حيث أجـريت تجربة اشتملت على مـجموعة من لاعـبى التحمل قامـوا بالجرى لمسافة ١٦ كيلو مترا فى يوم، ثم حـصل اللاعبون على راحة فى اليوم التالى، ثم تكرر الأداء فى اليوم الثالث ثم حصل اللاعبون على راحة فى اليوم الرابع، وهكذا لمدة ثلاثة أيام، وعلى الرغـم من أنهم كـانوا يتناولـون كـمـيـات مناسـبـة من الطـعـام المخـتلط (كـربوهيـدرات، دهـون، بروتين) خـلال أيام الجـرى إلا أن تركـيـز الجلـيكوجين فى العضلات أخذ يـتناقص يوما بعد يوم ولم يصل تركيزه فى العضـلات إلى المستوى الذى كان عليه قبل بدء التجربة.



شكل رقم (٢٤) تأثير الجرى يوم بعد يوم على تجديد مخازن الجليكوجين

كما اوضحت بعض الدراسات «برجستروم» «Bergstrom» ١٩٩٧، «وولف» «Wolfe» ١٩٨٦، أن استنزاف الجليكوجين من العضلات يختلف من رياضة لأخرى أو لعبة لأخرى، وذلك تبعا لشدة ورقت الجهد الذى يبذل فى كل منهما وكذلك تبعا لفترات الراحة البينية التى تعقب كل تدريب وآخر.

وجميع هذه المعلومات تعد فى غاية الأهمية بالنسبة للمدرب ولجميع العاملين فى المجال الرياضى حيث يتأسس عليها التخطيط لبرنامج التدريب من جهة وتشكيل حياة اللاعب من جهة أخرى، فضلا على رعايته والعناية به من مختلف النواحى التى تساعد على تقدم مستواه الرياضى.

البعد الثالث: امتلاء المايوجلوبين بالأكسجين:

Replenhstment of Myoglobin and Oxygen:

يوجد المايوجلوبين كجزء بروتينى فى العضلات الإرادية، حيث يرتبط بالأكسجين فى عمليات الأكسدة داخل الخلايا العضلية لإطلاق الطاقة، والدور الهام الذى يقوم به أنه يساعد فى عملية انتقال وانتشار الأكسجين فى الأنسجة العضلية كما يرتبط عمله بالهيموجلوبين الموجود بالدم.

يوجد المايوجلوبين بكميات كبيرة داخل الألياف العضلية البطيئة «Slow Twitch» مقارنة بالألياف العضلية السريعة «Fast Twitch» وهذا يفسر قدرة الألياف العضلية البطيئة «الحمراء» على القيام بالأعمال التى تتصف بالشدة المتوسطة ولمدة طويلة، ولكونها أيضا تتصف بالأكسدة الهوائية Aerobic ، كما أن المايوجلوبين هو الذى يعطى الألياف البطيئة اللون الأحمر، ومما يذكر أن هذا النوع من الألياف العضلية يستهلك الأكسجين بنسبة أكبر فى عمليات الأكسدة الهوائية.

ويشير فوكس «Fox» ١٩٧٠ إلى نسبة المايوجلوبين تقدر بحوالى «١١ ملليلتر فى كل كيلو جرام من الخلايا العضلية «ويعتبر ذلك هو المقدار الحقيقى لكمية مخازن الأكسجين التى هى بواسطة المايوجلوبين، وعلى سبيل المثال إذا كان لدينا فرد وزنه حوالى «٧٠ كيلو جراما» وتمثل العضلات الإرادية نسبة قدرها » ٣٠ كيلو جراما «من هذا الوزن، فيكون مجموع مخازن الجسم من المايوجلوبين حوالى «٣٣٠ ملليلتر» وبالطبع قد تزداد هذه النسبة أو تقل من رياضى لآخر حسب وزن عضلاته.

ويشير فوكس «Fox» أيضا إلى أن كمية المايوجلوبين لدى الرياضيين تزداد نتيجة التدريب حيث تصل إلى ٥٠٠ ملليلتر تقريبا، وتظهر أهميته فى الدور الهام الذى يقوم به أثناء التمرينات البدنية لإمداد العضلات بما تحتاج إليه من أكسجين، كما تدل نتائج الدراسات الفسيولوجية التى أجريت حول هذا الموضوع أن كمية المايوجلوبين والأكسجين التى تستهلك أثناء التمرينات تملأ مرة ثانية أو يعاد تجديدها وقت الاستشفاء.

ويضيف أن مصادر الطاقة العضلية أثناء التمرينات تكون عبارة عن حوالى ٢٠٪ من مجموعات الفوسفات Total ATP وحوالى ١٠٪ من نظام الأكسجين Oxygen System وحوالى ٤٪ من المايوجلوبين Myoglobin وحوالى ٣٪ من مخازن الفوسفاجين Phosphagen Stores وحوالى ٢٪ من نظام حامض اللاكتيك Lactic acid system ، إلا أن انتشار المايوجلوبين يقوم أثناء ذلك بدور هام فى داخل الخلايا حيث يسهل عملية انتشار الأكسجين من الدم «بالشعيرات» إلى أجسام الميتوكندريا «Mitochondria» داخل الألياف العضلية وكما هو معروف أنها أجسام مؤكسدة وهذه العمليات الكيميائية الحيوية بالعضلات معقدة للغاية.

- امتلاء مخازن أوكسيمايوجلوبين:

Replenishment of Oxymyoglobin Stores:

يذكر فـاندر وآخرون «Vander, etal» ١٩٨٤ أن مخازن أوكسـيمايوجلوبين تشبه فى امتلائها مخازن الفوسفـات حيث تكون سريعة جدا فى الفترة الأولى من عملية الاستشفـاء، والواقع التجريبى الذى تؤكد عليه كثـير من الدراسات البيوكيـميائية هو أن التـشابه فى التـجديد أو الامـتلاء يكون فى الأوكـسـيمـايوجلوبين أسرع من نظيـره فى الفوسفات، وقد فسر البعض ذلك بأن مركب الأوكسيمايوجلوبين Oxymyoglobin يمثل مصدرا من مصادر الطاقة بالجسم والأهم من ذلك كونه يحتوى على الأكسجين.

كـما أفـادت بعض الدراسـات «واسرمـان Wasserman ١٩٨٦»، «فـانـدر وآخرون Vander, etal ١٩٨٤» أن الاسترداد فى الأوكـسيمايوجلوبين لا يرتبط بـعملية التمثيل الناتج من ATP فضـلا على أن كلا من المايوجلوبين والأكسـجين مرتبطان، أو ملتصقان، وهذا الارتبـاط أو الالتصاق يعتمد على الاستفادة منهـما فى الدم الذى يسير داخل الأوعية الدموية حـتى يصل إلى الخلايا العضلية لإطلاق الطاقة مـعتمدا فى ذلك على نسبة الضغط فى الشرايين، وعندما يقل أو يخف الضغط فى داخل الأوعية الدموية ينفصل جزىء الأكـسجين عن المايوجلوبين وينفذ إلى الأنسجـة العضلية للقيـام بعمليات الأكسدة.

وعلى ذلك فـإن ربط جـزىء الأكـسـجين يكون قـويا جـدا فى الضـغط العـالى بالشرايين ثم يقل هذا الضغط فى نهـايته عند الأكسدة العضلية لنفاذ جـزيئات الأكسجين إلى الأنسجـة العضلية من أجل إتمام عمليـات الأكسدة، ثم يحدث ذلك مـرة أخرى فى فترات الاستشـفاء أيضا حيث يتم تخليص الأنسجة العضلية مـن نواتج عمليات الأكسدة المختلفة.

- الأوكسيمايوجلوبين والدين والأكسجينى:

Oxymyoglobin and Oxygen Debt:

يطلق مصطلح الدين الأكسجـينى على كمية الأكسجين التى تستـهلك خلال فترة الاستشفاء، وهذه الكمية من الأكسجين تزيد عن حجمها وقت الراحة، وبمعنى آخر يعنى

الدين الأكسجينى أن كمية الأكسجين المستهلك أثناء المجهود قد زاد عن استهلاك الأكسجين وقت الراحة، وأن فترة الاستشفاء التى تلى المجهود البدنى تزداد بها نسبة الأكسجين ليتمكن الجسم من إعادة مخزون الطاقة إلى المستوى التى كانت عليه قبل أداء الجهد البدنى.

أى أنه للتعرف على الدين الأكسجينى يلزم التعرف أولا على حجم أو مقدار الأكسجين أثناء فترة الراحة ولمدة محدودة، وبمقارنة هذا الحجم بما يتم استهلاكه من أكسجين بعد أداء التمرينات البدنية يتضح أن هناك فارقا فى هذا الحجم أو المقدار، وهذا الفارق هو ما يعرف بالدين الأكسجينى.

أى أن الدين الأكسجينى هو زيادة فى نشاط استهلاك الأكسجين وقت الراحة التى سبقها عمل عضلى، ويتم ذلك من خلال الحصة المبكرة أو الفترة الأولى من الاستشفاء حيث يبلغ حده الأقصى فى بداية تلك الفترة ثم يتناقص شيئا فشيئا مع طول فترة الاستشفاء وهو ينقسم إلى قسمين:

الأول يتم فيه استعادة تكوين مصادر الطاقة الفوسفاتية وتسمى الدين الأكسجينى بدون اللاكتيك، **والثانى** يتم فيه التخلص من حامض اللاكتيك ويسمى الدين الأكسجينى لحامض اللاكتيك.

أى أنه أثناء فترة الاستشفاء وزيادة استهلاك الأكسجين يتم تجديد مركبات الفوسفات فى العضلات، وتعتبر عملية زيادة نشاط الأكسجين أثناء فترة الاستشفاء من أجل تعويض المايوجلوبين بالأكسجين، ويعتقد أن امتلاء مخارن أوكسيمايوجلوبين مرتبط بعملية الدين الأكسجينى.

البعد الرابع: التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم:

Removal of Lactic acid from Mvscles and Blood:

حامض اللاكتيك عبارة عن مركب كيميائى يرمز له بالرمز «CH3 - CHOH - COOH» ويتكون فى العضلات نتيجة أكسدة الجلوكوز لاهوائيا بالخلايا العضلية.

ويذكر واسرمان «Wasserman» ١٩٨٦ أن نسبة حامض اللاكتيك فى الدم لدى الفرد العادى وقت الراحة من (٨-١٢ مليجرام ٪) (حوالى ١,٠٠ مللى مول/ لتر). إلا أن تلك النسبة تزيد عند المجهود البدنى وعند معدل منخفض من الأكسجين.

وحامض اللاكتيك عندما يتراكم فى العضلات وينتقل إلى الدم يؤدى إلى الشعور بالتعب المؤقت، والتخلص منه مهم جدا لإتمام عمليات الاستشفاء والعودة إلى الحالة الطبيعية للرياضيين بعد الانتهاء من الجهد البدنى، وهذا يعتمد على مدى تراكم حامض اللاكتيك من جهة وعلى نوعية وطبيعة الأداء من جهة أخرى وعلى نظم إطلاق الطاقة إن كانت هوائية أو غير هوائية.

وتسمى عملية إنتاج حامض اللاكتيك Producation of Lactic acid ويرمز لها بالرمز «Ra» بينما تسمى عملية التخلص منه Rat of disappearance ويرمز لها بالرمز «Rd» فى حين أن ثبات مستوى حامض اللاكتيك فى الدم أو استقراره تسمى «Steady State» ويرمز لها بالرمز Ra = Ed أى أن الإنتاج والتخلص متساو.

وقد أثبتت عدة دراسات أن مدة ساعة ونصف تقريبا تكون كافية للتخلص من حوالى ٨٠٪ من حامض اللاكتيك بعد التدريبات ذات الشدة القصوى، بينما يقل الزمن اللازم لذلك كلما قلت شدة التمرينات، وبصفة عامة يساعد على سرعة التخلص من حامض اللاكتيك قيام الفرد ببعض تمرينات التهدئة الخفيفة حيث إنها تعمل على سرعة التخلص منه.

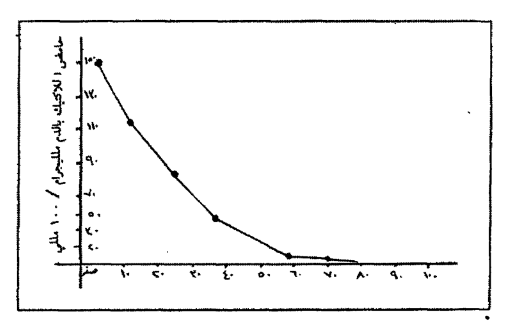
سرعة التخلص من حامض اللاكتيك: Speed of Lactic acid Removal

إن سرعة التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم أثناء عملية الاستشفاء والعودة للحالة الطبيعية بعد الجهد البدنى تعتبر هدفا غاليا يسعى إليه جميع المدربين والرياضيين على حد سواء.

وعندما تزداد نسبة حامض اللاكتيك فى العضلات تخرج إلى الدم الذى يحملها بدوره إلى الكبد Liver والكبد بدوره يقوم بتحويل اللاكتات Lactate إلى بيروفات Pyruvate عن طريق عمليات كيميائية متسلسلة تنتهى بتحويل البيروفات إلى جليكوجين Glycogen - 6P يذهب إلى الدم ثم يصل إلى العضلات لاستخدامه فى إنتاج الطاقة، وذلك من خلال عمليات الجلكزة أو يخزن على صورة جليكوجين، أو ليظل كمخازن للطاقة فى العضلات، وتعرف دورة اللاكتيك من العضلات إلى الدم إلى الكبد بدورة «كورى Cori Cycle».

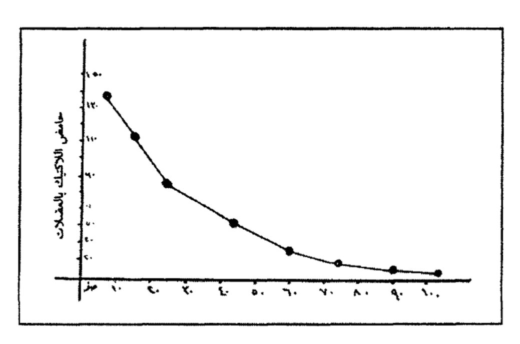
وينتشر حامض اللاكتيك من الخلايا العضلية إلى الدم أو الفراغات خارج الخلايا، ويتم انتشار بعض حامض اللاكتيك خلال الألياف العضلية الأخرى غير العاملة لاستهلاكه كمصدر للطاقة، كما يتم دفع جزء آخر من حامض اللاكتيك إلى الدم الذى ينقله إلى القلب الذى يستهلكه كمصدر للطاقة.

ويساعد الجهاز الدورى فى التخلص من حامض اللاكتيك نتيجة زيادة توصيل الدم إلى العضلات العاملة عن طريق زيادة الدفع القلبى وكثافة الشعيرات الدموية وتوزيع سريان الدم إلى العضلات العاملة، وهذا يعمل على سريان الدم خلال العضلات لفترة زمنية معينة مما يسمح بانتشار اللاكتيك من العضلات إلى الدم الذى يقوم بنقله إلى القلب والكبد والعضلات غير العاملة.



وقت الاستشفاء بالدقيقة

شكل رقم (٢٥) سرعة التخلص من حامض اللاكتيك بالدم



وقت الاستشفاء بالدقيقة

شكل رقم (٢٦) سرعة التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات

وقد دلت دراسة «كـارلسون وسالتين Darlessan and Saltin ١٩٩٢» علـى أن الرياضيين أصـحاب القلوب كبيرة الحـجم تكون فرصتهم أفـضل فى التخلص من زيادة حامض اللاكـتيك من الدم نتيـجة قيام الألـيـاف العضلية للقلـب باستهلاك اللاكـتيك، وأثبتت الدراسـة أن تدريبات التحـمل تعمل على سـرعة التخلص من اللاكـتيك نتيـجة تأثيرها المباشر فى زيادة حجم القلب حيث يصل إلى ١١٥٠سم٣.

ويسـاعد نشـاط إنزيم Lactate dehydrogenase (LDH) فى التمثـيل الغذائى لحامض اللاكـتيك، ولهذا فإن زيادة نشـاط هذا الإنزيم يصحبهـا زيادة فى التخلص من اللاكتيك ،وهناك نوعان أساسيـان من أشكال هذا الإنزيم فى جسم الإنسان أحدهما فى العضلة (M - LDH) والثانى فى القلب (H - LDH) ويساعد إنزيم العضلات فى تحويل اللاكتيك إلى بيروفك بينما يقوم إنزيم القلب بتنظيم التـفاعل العكسى بتحويل اللاكتيك إلى بيـروفك، وهذا الإنزيم (H - LDH) ينتشـر فى ألياف عضلة القـلب، وعندما يزيد تجمع اللاكتيك فى العضلة يشعر اللاعب بالتعب العضلى.

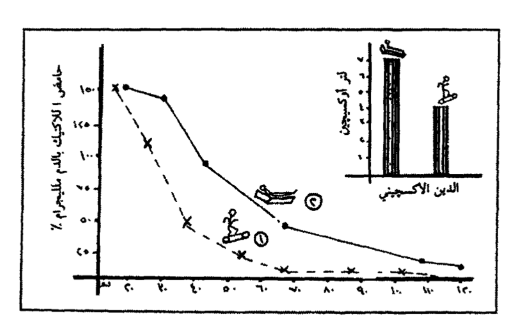
وبشكل عام فإن حـامض اللاكتيك يسلك عدة مسالك عن طريقـها يتم التخلص منه. وهذه المسالك هى:

- التـحول إلى جليكـوجين وجلوكوز؛ ويتم ذلـك فى الكبد وذلك من خـلال دورة بين العضلات والدم والكبد تعرف بدورة كورى.
- أكسدة حامض اللاكـتيك بالطرق الهوائية حيث يتحول إلى ثانى أكـسيد كربون وماء لاستخدامه كوقود فى إنتاج الطاقة الهوائية بواسطة العضلات الإرادية.
- التـحول إلى بروتين ويتم ذلك بشـكل قليل جدا خـلال الفتـرات الأولى من عملية الاستشفاء.
- التـحول إلى البـول والعرق ويتم ذلك بشكل بسـيط جدا مـن خلال الجـهاز الإخراجى.

تأثير التمرينات على التخلص من حامض اللاكتيك:

Effect of Exaercise - Recovery on Lactic acid Removal:

تدل نتائج دراسات فوكس وما تيوز «Fox and Mathews» ١٩٧١ التى أجريت حول هذا الموضوع أن التمرينات التى تؤدى على جهاز البـساط المتحرك والدراجة الثابتة تساعد على سرعـة التخلص من حامض اللاكتيك وبنسب غيـر متساوية، وهى فى نفس الوقت تكون أفضل من الاعـتماد على الراحـة التامة دون القـيام بأى جهـد، حيث إن الراحة التامة تزيد مـن فترة التخلص من حامض اللاكتيك، وتشـير النتائج إلى أن الدم يتخلص من حـامض اللاكتيك، فى حـوالى ٦٠ دقيقـة بينما يتم التـخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات فى حوالى ٩٠ دقيـقة، وعلى ذلك فإنه يمكن مساعدة الرياضيين فى عمليات التخلص من حامض اللاكتيك وذلك عن طريق القيـام ببعض التمرينات الخفيفة «المشى - الدحدحة - تمرينات التهدئة» لأنها أفضل بكثير من الراحة التامة السلبية بالنسبة للتخلص من حامض اللاكتيك.



وقت الاستشفاء بالدقيقة

شكل رقم (٢٧) تأثير التمرينات على التخلص من حامض اللاكتيك

فترات الاستشفاء فى التدريب البدنى:

Interval Recovery in Phyical Training:

إن قدرة الفرد على العمل والأداء البدنى أثناء التدريب تمر فى عدة مراحل:

المرحلة الأولى: هى مرحلة استنفاد الجهد؛ فعند قيام الفرد بجهد بدنى فإنه يستنفد قدرا من الطاقة وتنخفض قدرته على العمل تدريجيا، وتظهر عليه علامات التعب.

والمرحلة الثانية: هى مرحلة استعادة الاستشفاء أى أنه عندما يعقب الجهد البدنى توقف عن العمل أى الانتقال إلى الراحة فإن قدرة الفرد تعود تدريجيا إلى حالتها الأولى التى بدأت منها.

والمرحلة الثالثة: هى زيادة استعادة الاستشفاء أى أنه باستمرار فترة الراحة نجد أن الفرد يمر فى مرحلة تزداد فيها قدرته عما كانت عليه فى البداية وتعرف هذه المرحلة بمرحلة زيادة استعادة الاستشفاء «التعويض الزائد». وأخيرا.

المرحلة الرابعة: وهى العودة لنقطة البداية أى أنه إذا طالت فترة الراحة أكثر من اللازم فإن قدرة الفرد تعود إلى حالتها الأولى.

وتستغرق كل من المراحل الثلاثة الأخيرة فترة معينة تتناسب مع شدة وحجم الحمل فى المرحلة الأولى وهى تختلف من فرد لآخر طبقا لمستوى قدراته الوظيفية والبدنية، وعلى ضوء ذلك فإن تكرار الحمل فى كل مرحلة من المراحل الثلاثة الأخيرة يؤدى إلى النتائج التالية:

- إذا تكرر الحمل التدريبى فى مرحلة العودة لنقطة البداية فإنه لن يؤدى إلى تنمية تذكر فى القدرات الوظيفية والبدنية للفرد.
- إذا تكرر الحمل التدريبى أثناء مرحلة استعادة الاستشفاء فإن ذلك يؤدى إلى هبوط فى القدرات الوظيفية والبدنية للفرد.
- إذا تكرر الحمل التدريبى فى مرحلة زيادة استعادة الاستشفاء «التعويض الزائد» فإن ذلك يؤدى إلى الارتقاء بالقدرات الوظيفية والبدنية للفرد.

جدول (٩) فترات الاستشفاء الموصى بها بعد التمرينات

مواد الطاقة أثناء عملية الاستشفاء	فترات الاستشفاء	
	الحد الأدنى	الحد الأقصى
تعويض مخازن الفوسفات بالعضلات ATP, PC	٢ دقيقة	٣ دقيقة
تعويض مخازن المايوجلوبين بالأكسجين	١ دقيقة	٢ دقيقة
تعويض مخازن الجليكوجين بالعضلات	١٠ ساعات ٥ ساعات	٤٦ ساعة بعد التمرينات المستمرة ٢٤ ساعة بعد التمرينات المتقطعة
تخلص العضلات والدم من حامض اللاكتيك	٣٠ دقيقة ١ ساعة	١ ساعة باستخدام التمرينات الخفيفة ٢ ساعة بدون استخدام «راحة»
الدين الأكسجينى لحامض اللاكتيك	٣٠ دقيقة	١ ساعة

نخلص من ذلك أنه لضمان الارتقـاء بقدرات اللاعب البدنية والوظيفـية فإنه من الضرورى العـناية بفترات الـراحة البينيـة عند تكرار الحمل التـدريبى بحيث يـقع الحمل التالى فـى مرحلة زيادة استـعادة الاسـتشـفاء حيث يتـم فى هذه المرحلة تجديد مـخازن الفوسفات والجليكوجين بالعضلات، كما يتم امتلاء المايوجلوبين بالأكسجين وكذلك يتم التخلص من حـامض اللاكتيك فى العـضلات والدم، لذلك كان لزامـا على كل مدرب ضبط فترات الراحة البينية بين كل تكرار لحمل التدريب وبين كل تدريب وآخر.

وعلى سبيل المثـال فإن طريقة التدريب الفـترى منخفض الشدة يهـدف إلى تنمية التحـمل العام والتـحمل الخاص وتحـمل القوة وأن فتـرات الراحة البينـية بين كل تكرار وآخـر تكون من ٤٥-٩٠ ثـانيـة للاعـبين المتـقـدمين، وتكـون من ٦٠ - ١٢٠ ثانيـة للناشئين، وهذه الفترات كافية لتكوين وتجديد الفوسفات، وهى بالتالى تساعد على تنمية تلك العناصر البدنية.

أما إذا كان المطلوب هو تنمية السرعة أو تحمل القوة أو القدرة فإن طريقة التدريب الفترى مرتفـع الشدة هى أنسب الطرق حيث تتراوح فترات الراحـة البينية بين كل تكرار وآخر من ٩٠ - ١٨٠ ثانية للاعبين المتـقدمين وتكون من ١١٠ - ٢٤٠ ثانية للناشئين، وهذه الفـترة أيضـا كافـية لتكوين وتجـديد المركبـات الفوسـفاتيـة وامتـلاء المايوجلوبين بالأكسـجين، فى حين إذا كان الهـدف هو تنميـة السرعـة أو القوة العظمى فـإن طريقة التدريب التكرارى تعتبر مناسبة حيث تتراوح فترات الراحة البينية عند تدريبات الجرى من ١٠ - ٤٠ دقيقة فى حين تكون من ٣ - ٤ دقائق لتدريبـات الأثقال وهذه الفترات كافية لتجديد الجليكوجين وامتلاء مخازن الفوسفات بالعضلات.

يتضح من ذلك أن عمليات الاستشفاء التى تتم بين كل تكرار وآخر وبين كل يوم تدريبى وآخر مـن الأهمية حـيث إنها تساعـد على الارتقاء بالمسـتوى الوظيـفى والبدنى للفرد، وفى حالة تقنين تلك الفـترات فإن مخازن الطاقة بالعـضلات والدم يتم تجديدها وامتلاؤها مما يجعـل اللاعب فى كل مرة يبدأ من مستوى أفضـل من المستوى الذى كان عليه فـى التدريب السابق وفـى الأسبوع السـابق وهكذا، كمـا أن إهمال تلك الفـترات يؤدى إلى عدم قدرة اللاعب على مواصلة الجهد وبالتالى يقل مستواه الوظيفى والبدنى.

مستخلص عمليات الاستشفاء:

(١) تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات يكون سريعا جدا خلال الدقيقة الأولى من فترة الاستشفاء حيث يصل إلى ٧٥٪، ويستمر التجديد فى الزيادة ليصل إلى ٩٨٪ خلال الدقيقة الثالثة، ويوصى المؤلف بضرورة التزام المدربين بفترات الاستشفاء خاصة عند التدريب لتنمية التحمل العام والتحمل الخاص.

(٢) طريقة التدريب الفترى منخفض الشدة تشتمل على فترات راحة بينية تتراوح من ١-٢-٣ دقائق، وتكفى تلك الفترة لتجديد الفوسفات لذلك يوصى المؤلف بضرورة اهتمام المدربين بفترات الراحة البينية للتأكد من استكمال عمليات تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات.

(٣) تكرار تدريبات التحمل لأيام متتالية دون فترات راحة يؤدى إلى نقص فى مخازن الجليكوجين حيث يستمر النقص مع مرور أيام التدريب، ويوصى المؤلف بأن تتخلل الوحدات التدريبية الخاصة بتنمية عنصر التحمل وحدات تدريبية أخرى لتنمية عناصر بدنية مختلفة.

(٤) قليل جدا من جليكوجين العضلات يتم تجديده بعد مرور ٣٠ دقيقة من بداية فترة الاستشفاء، وحوالى ٤٥٪ من الجليكوجين يتم تجديده بعد مرور حوالى خمس ساعات، وحوالى ٦٠٪ منه يتم تجديده بعد مرور عشر ساعات من بداية فترة الاستشفاء بين وحدات التدريب؛ لذلك يوصى المؤلف بمراعاة تلك الفترات عند التخطيط لبرامج التدريب المختلفة.

(٥) تمتلئ العضلات بالجليكوجين بعد مرور ٢٤ ساعة إذا سبقها تدريب بدنى فترى مرتفع الشدة، وتحتاج إلى ٤٦ ساعة لامتلائها إذا سبقها تدريب بدنى منخفض الشدة على أن يتناول الفرد كميات مناسبة من الكربوهيدرات فى الطعام.

(٦) مخازن الأوكسيمايوجلوبين تبدو أهميتها فى تسهيل انتشار الأكسجين داخل الأنسجة العضلية ويساعدها فى ذلك الميتوكندريا، كما أن الألياف العضلية

الحمراء غنية بالمايوجلوبين مقارنة بالألياف العضلية البيضاء، وعندما تستهلك كمية الأوكسيمـايوجلوبين فى الانقباض العضلى تملأ مرة ثانية فى اللحظات الأولى من فترة الاستشفاء.

(٧) يتحول قدر كبير من حامض اللاكتيك إلى جليكوجين فى الأكسدة الهوائية وذلك بفضل الدور الهـام الذى يؤديه الكبد، كمـا أن استخدام التـمرينات البسـيطة بعد التدريبـات تعمل على سـرعة تخليص العضـلات من حامض اللاكتـيك، وتعرف تلك التمرينات بتـمرينات الاستشـفاء. ويوصى المؤلف المدربين بضـرورة العنايـة بتلك التـمـرينات بعـد الانتـهـاء من التـدريبـات الأساسية.

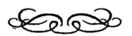
(٨) تعد عملية الاستشفاء بعد التدريب البدنى بأنواعه المختلفة فى غاية الأهمية لتجديد مـخازن الطاقة بالعضـلات والدم، ولتحقيق ذلك فـإن تقنين فترات الراحة البينية لتكرارات التـدريب تعمل على تجديد تلك المركبات مما ينعكس إيجابيـا على اللاعب بحيث يبـدأ التدريب كل مـرة من مستـوى أفضل من المستوى السابق، وهذا بدوره يساعد على الارتقاء بمستواه البدنى والوظيفى.



الفصل العاشر

المصطلحات المتصلة

بموضوع الكتاب



أحماض Acids

هى مـواد تعطى عند تفككها أيـونات الهيـدروجين والأحـمـاض إمـا أن تكون أكسيـجينية أو غيـر أكسيجينـية، ويدل عدد ذرات الهيدروجين فى جـزىء الحمض على قاعديته، فمثلا يقال بأن HCL ، HNO_3 حمضان أحاديا القاعدة، H_2Cro_4 ، H_2O_4 حمضان ثنائيا القاعدة، ويذوب العديد من الأحماض جيدا فى الماء، ولمحاليل الأحماض طعم حـامض يتغـير فـيهـا لون المحلول وتتـفاعل الأحـماض مع الفلزات والأكـاسيـد والأملاح . .

أحماض أمينية Amino acids

هى أحماض عضوية تحتوى على مجموعة أو عدة مجموعات أمينية، وهى واسعة الانتشـار فى الطبيعـة، وتدخل فى تركيب البروتينات، وتقـسم الأحماض الأمـينية إلى أحماضa ، وأحـمـاض B وذلك تبـعـا لوضع مـجمـوعـة الأمين بالنسـبـة لمجمـوعـة الكربوكسيل، وتقسم الأحـماض الأمينية إلى أحماض أحاديـة الأمين وثنائية الأمين تبعا لعدد المجموعات الأمينية فيها، والأحماض الأمينية مواد بلورية صلبة معظمها يذوب فى الماء ولا يذوب فى المزيـات العضوية ولهـا طعم حلو، وقد تم الحـصول على أكـثر من عشـرين حمضـا أمينيا، ويمكن الحـصول عليهـا صناعيا بتـفاعل النشادر مع الأحـماض الحاوية على الهالوجين وتصنع من الأحماض الأمـينية فى الجسم الحى بروتينات لمختلف الأعضاء والأنسجة وكذلك الهرمونات والأنزيمات وغيرها من المواد البيولوجية الهامة.

أحماض دهنية Fatty acids

أحماض عضـوية ذات سلسلة مفتوحة مثل حمض الخليك، وفى الأجـسام الحية والنباتية تتكون الأحماض الدسمة غالبا نتيجة عمليات التمثيل الغذائى فى هذه الأجسام، وتدخل فى تركيب الدهون.

أحماض كربوكسيلية Carboxylic scids

أحد المركبات العضوية تحتوى عـلى مجموعة كربوكسيل C = o - oH ويمكن أن تكون وحيـدة القاعدة أو ثنائيـة القاعدة أو متـعددة حسب المجمـوعات الكربوكسـيلية، وتتفاعل مع الكحـولات مكونة الإسترات، كمـا تحضر بأكسدة الألدهيـدات والكيتونات

وهى منتشرة فى الطبـيعة كما تدخل فى تركـيب الدهون والزيوت وتوجد فى الدم وثمار النباتات.

أحماض نووية Nucleic acids

هى مركـبات عضوية ذات جـزيئات ضخمـة تدخل فى تركيب البروتينات المعـقدة وتلعب دورا هامـا فى عمليـات النشاط الحيـوى لجمـيع الأجسـام الحية، وتتـألف هذه الأحـمـاض من عدد كـبـيـر من النوويات الأحـادية التى يدخل فى تركـيـبهـا حـمض الفـوسفوريك والـكربوهيدرات «الريبـوز» ليمـيز بين نوعين منهـا هما الحـمض النووى DNA، RNA ويتمركز DNA غالبا فى نوى جميع الخلايا والكروموزومات بينما يوجد RNA بصورة رئيسية فى السيتوبلازم ويلعب DNA دورا كبيرا فى نقل الخواص الوراثية للأجسام.

أحماض هيدروكسيلية Hydroxy acids

مركبات عضـوية تحوى فى آن واحد مجموعتى الكربوكسيل والهـيدروكسيل مثل حمض اللاكتيك «CH_3 - CHOH - COOH» وهى تتصف بجمـيع خواص الأحماض مثل «التفكك - تشكيل الأملاح» والكحولات مثل «الأكسدة» وتنتشر بشكل واسع فى الطبيعة.

اختزال Reduction

هو تفاعل كـيميائى معـاكس للأكسدة حيث تضم فـيه الذرة أو الأيونات مما يؤدى إلى خفـض تكافؤ درجة الأكـسدة مـثل اختـزال الأحماض الـعضوية إلى الألـدهيدات والكحولات.

أدرينالين «إبنفرين Adrenaline epinephrin»

هرمون تفرزه غدة الكظر ويؤدى إلى رفع الضغط الشريانى نتـيجة تضييق الأوعية الدموية كما يشترك فى تمثيل الكربوهيدرات.

إسترات Esters

مشـتقات الأحمـاض العضوية أو غيـر العضوية والكحـولات وتوجد فى الزيوت الأثيرية وتشكل أساس الدهون الحيوانية والنباتية.

إسترويدات Steroids

مواد عضوية معقدة من منشأ نباتي وحيواني وهي تشتمل على الإستيرينات والأحماض الصفراوية والهرمونات الجنسية ولها دور هام في النشاط الحيوي للأجسام الحية.

أكسدة Oxidation

تخلي ذرات أو جزيئات المادة المتأكسدة عن الإلكترونات وانضمام هذه الإلكترونات إلى ذرة أو جزيء مادة أخرى تدعى المؤكسد، ويرافق الأكسدة ازدياد في التكافؤ الموجب «درجة الأكسدة» وكان ينظر سابقا إلى الأكسدة على أنها مجرد تفاعل ضم الأكسجين إلى مادة ما، ولكن تفاعل ضم الأكسجين يعتبر حالة خاصة بين تفاعلات الأكسدة، وتنطلق كمية من الطاقة أثناء أكسدة المواد وعمليات الأكسدة واسعة الانتشار في الطبيعة ونذكر منها الاحتراق وهي مستمرة في جسم الحيوان.

أكسجين Oxygen

تم اكتشافه لأول مرة عام ١٧٧١ من قبل العالم شيلا ثم تلاه العالم بريستلي عام ١٧٧٤ دون أن يعلم باكتشاف شيلا. والأكسجين من أكثر العناصر انتشارا على الأرض وهو يوجد بصورة حرة في الهواء ويشكل حوالي ٢١٪ من حجم الهواء، وهو غاز ثنائي الذرة O_2 لا لون له ولا طعم وهو يتفاعل مع معظم العناصر ويؤكسد بنشاط المواد العضوية، ويحضر أساسا من الهواء ويستعمل في العديد من الصناعات الكيميائية، وبوجه عام فالأكسجين ضروري لجميع الكائنات الحية.

ألدهيدات Aldehydes

أحد المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعة «COH» وتحضر بأكسدة الكحولات، والألدهيدات مواد فعالة كيميائيا حيث تتأكسد بسهولة وتتحول إلى أحماض.

أملاح Salts

أحد المركبات الكيميائية وهي عبارة عن مواد بلورية أيونية تعطي عند تحللها في المحاليل أيونات موجبة وسالبة، كما تقسم كيميائيا إلى أملاح محايدة «طبيعية» وأملاح حمضية وقاعدية وثنائية ومختلطة.

أميلاز Amylase

وهو من الكلمة اليونانية amilan وتعنى النشا وهو عبارة عن إنزيم واسع الانتشار فى الطبيعة «فى أنسجة الحيوانات والنباتات» ونذكر على سبيل المثال أن أميلاز اللعاب يستطيع خلال عدة دقائق أن يحول النشا إلى مالتوز.

إنزيمات Enzymes

حوافزعضوية من أصل بروتينى تنتجها البروتوبلازما الحية للخلية، تشترك فى جميع العمليات البيولوجية وتتصف بفاعلية كبيرة فى تأثيرها ويعرف فى الوقت الحاضر أكثر من ٨٠٠ أنزيم.

أنسولين Insulin

وهو من الكلمة اللاتينية Insula وتعنى جزيرة وهو هرمون تفرزه غدة البنكرياس وهو ينظم عملية تمثيل الكربوهيدرات فى الجسم ويحافظ على النسبة الطبيعية للسكر فى الدم. والأنسولين بروتين بسيط يوجد فى المحاليل المائية على شكل جسيمات كبيرة، ويستعمل فى علاج مرض السكر وبعض الأمراض النفسية.

ببتيدات Peptides

مواد عضوية تتكون من الأحماض الأمينية وتتحد مع بعضها برابطة ببتيدية وهى نواتج وسطية فى تفاعلات تحلل البروتين فى الأجسام الحيوانية والنبات وتتحل الرابطة الببتيدية بفعل الإنزيمات مما يؤدى إلى أحماض أمينية حرة.

ببسين Pepsin

إنزيم يوجد فى عصارة المعدة يفكك البروتينات ويحولها إلى ببتيدات.

بروتينات proteins

مركبات طبيعية ذات جزيئات ضخمة، وتعتبر أهم مكون فى جميع الأجسام الحية وتتكون من مئات وآلاف البقايا من الأحماض الأمينية a المرتبطة مع بعضها بروابط ببتيدية، وتدخل فى تركيب البروتينات بقايا أكثر من عشرين حمضا أمينا وتتألف البروتينات من الكربون ٥٠٪ والأكسجين ٢٠٪ والهيدروجين ٦٪ والنتروجين ١٥٪

والكبريت ٣٪، وهى تلعب دورا هامـا فى النواحى البيولوجية التى تنظم سـرعة واتجاه التفاعلات الكيـميائية فى الجسم وتتعاون مع الأحـماض النووية فى نمو الجسم ونقل كل الصفـات الوراثية، وتعـتبر الأسـاس البنائى للعضـلات، وتقسم البروتينات إلـى بسيطة ومعقدة.

بنتوز Pentose

سكر أحادى يحتـوى على خمس ذرات كربون «مثل الريبوز الأرابينوز» وصـيغته الكيميائية $C_5H_{10}O_5$ ، والبنتوز واسع الانـتشار فى الطبـيعة، وهو يدخـل فى تركيب الأحماض النووية.

بوتاسيوم Potassium

فلز ذو لون أبيض فضى، نشيط كيـميائيا ويتأكـد فى الهواء ببـرعة ويتفاعل مع الماء والأحماض حيث يعطى هيدروجين كما يقوم بدور المادة الحفازة.

بولى سكريد Poly saccharides

كربوهيدرات معقدة تتألف جزيئاتها من عدد كبير من بقايا السكريات الأحادية.

تجلط «تخثر» Coagulation

اتحاد الجسيمات الدقـيقة مع بعضها البعض وتشكيلها لجسـيمات أضخم تحت تأثير قوى الالتحام أو الالتصاق.

تخمر Fermentation

عملية تفكك المواد العـضوية وبخاصة الكربوهيدرات بفعل الكائنات الدقـيقة مثل البكتيريـا أو الإنزيمات، ويرافق هذه العملية انطلاق طاقة ضـرورية لنشاط هذه الكائنات الدقيقة، ويعـتبر التخمر الكحـولى أساس عدد من الصناعات الغذائية مـثل إنتاج الألبان والأجبان والبيرة.

تركيز Concentration

مقدار يعبر عن الكمـية النسبية للمادة المعينة في المحلول، ويعبر غـالبا عن التركيز بكتلة المادة المذابة فى ١٠٠ ، جرام وأحيانا فى لتر من المذيب، والتركيز الجزيئى الحجمى

هو عدد الجزيئات بالجرام من المادة المذابة فى لتـر من المحلول، والتركيز الجزيئى الوزنى هو عدد الجزيئات بالجرام من المادة المذابة فى ١٠٠٠ جرام من المذيب.

تعادل Neutralization

ويعنى محايد أو معتدل عندما يكون الحمض والقاعدى متساويين.

تفاعلات كيميائية Chemical reactions

تحول مواد إلى مواد أخرى تختلف عن الأولى فى تركـيبها وخواصها، ويمثل هذا التحول بمعادلة كيميائية أى أن ذرات المادة لا تتحول وإنما تنتقل من حالة إلى أخرى.

ثلاثى فوسفات الأدينوزين Adenosin Triphosphat ATP

مركب قاعدى تتحول وتختزن فيه الطاقة اللازمة لنشاط الكائنات الحية وتوجد فيه روابط فوسـفاتية غنيـة جدا بالطاقـة مما يجعله يشتـرك في تفاعـلات التمثـيل الغذائى، وتنفصل من جزيئات ATP مجموعتان فوسـفتيان وتنطلق عندئذ طاقة قدرها ٤٠ - ٥٠ كيلو جول / مـول وتجرى تحولات ATP فى الأجسام الحيـة بفعل الإنزيمات ويوجد فى أنسجة الحيوانات والنباتات.

ثانى أكسيد الكربون Carbon dioxede CO_2

غاز عديـم اللـوم أثقـل مـن الهـواء، تبلـغ نسبتـه فـى الجـو ٠,٠٣ - ٠,٠٤٪، يذوب فى الماء وهو مركب ثابت يشكل باتحاده مع الماء حمض الكربونيك ويتفاعل بنشاط مع القواعد القوية مكونا الكربونات، وهو ينتج من تفاعلات التمثيل الغذائى بالجسم.

جزىء Molecule

أصغر جسم في المادة البسيطة أو المعقدة ويملك الخـواص الكيميائية الأساسية لها، ولا يتعلق تركيب وبناء الجزىء بطريقة تحضير المادة.

جيلاتين Gelatin

مـزيج من مواد بروتينـية ذات منشـأ حيـوانى، ويحـوى ١٥٪ ماء و١٪ رمـاد، والجـيلاتين ذو لون أصـفر باهت ينـتفخ بالماء ثم يذوب فـيه أثـناء التسـخين، ويتحـول الجيلاتين أثناء تبريده إلى هـلام يعود ويتحول إلى محلول بالتسخين، ويحـضر الجيلاتين من عظام وغضاريف الحيوانات.

حمض اللاكتيك Lactic Acid

يتكون من المواد السكرية أثناء تخمرها اللبنى، ويتكون فى العضلات نتيجة الأكسدة اللاهوائية، تزداد نسبته فى العضلات أثناء القيام بجهد عضلى لاهوائى ويعتبر من أحد العوامل المؤدية للتعب العضلى، عند الراحة يتحول منه جزء إلى جليكوجين ويتأكسد القسم الآخر متحولا إلى H_2O، CO_2.

حمض الهيدروكلوريك Hydrochloric

محلول مائي من كلوريد الهيدروجين HCL وهو حمض قوى ذو رائحة نفاذة، ويحضر بإذابة كلوريد الهيدروجين فى الماء، ويلعب دورا هاما فى هضم الطعام بالمعدة.

دهون Fats

تعتبر مصدر الطاقة فى الجسم وتدخل فى تركيب البروتوبلازم والمواد الغذائية الاحتياطية، والدهون الحيوانية هى مواد صلبة، أما الدهون النباتيه فكلها مواد سائلة ولهذا تسمى بالزيوت، وتتكون الدهون الحيوانية من أحماض مشبعة صلبة مثل حمض البالمتك بينما تشكل الأحماض غير المشبعة الجزء الرئيسى فى الدهون النباتية، ويمكن تحويل الزيوت النباتية إلى دهون صلبة عن طريق الهدرجة، والدهون لا تذوب فى الماء وتشكل مواد عالقة أو مستحلبات.

دليل هيدروجينى PH ualue

PH قيمة تعبر عن تركيز فاعلية أيونات الهيدروجين فى المحاليل +H أى أنها تركيز أيونات الهيدروجين، وقد أدخل مفهوم PH فى الكيمياء لتسهيل الحسابات المتعلقة بقيمة +H نظرا لأن هذه القيمة تتراوح ضمن مجال واسع، ويمكن أن تقع قيمة PH للمحاليل المائية بين الصفر و١٤ وهى تساوى ٧ ($PH = 7$) فى الماء النقى والمحاليل المعتدلة وأصغر من ٧ ($PH<7$) فى المحاليل الحمضية وأكبر من ٧ ($PH>7$) فى المحاليل القلوية، وتقاس قيمة PH بواسطة الأدلة الحمضية والقلوية.

سكر Sugar

الاسم الشائع للسكروز $C_{12}H_{22}O_{11}$، يحضر أساسا من قصب السكر حيث تصل نسبته إلى ١٩٪ وهو ينتمى إلى السكريات الثنائية.

سكريات أحادية Monosaccharides

أبسط أنواع السكر (مونوزات) وهى عبارة عن كحولات ألدهيدية أو كحولات كيتونية وينتمى إليها الجلوكوز والفركتوز وغيرها.

سكريات ثنائية Disaccharides

كربوهيدرات بلورية تتكون جزيئاتها من بقايا جزءين من السكريات الأحادية، تدخل فى تركيب الأنسجة النباتية والحيوانية مثل السكروز والمالتوز، وتتحلل إلى سكريات أحادية.

سكرين Saccharin

بلورات عديمة اللون ذات طعم حلو، وهى عبارة عن ملح السكرين الصوديومى وهو أحلى من السكر العادى بـ ٥٠٠ مرة، ويحضر السكرين من مادة تعرف بالتولوين ويستخدمه المرضى بديلا عن السكر حيث لا يمثله الجسم.

سليولوز Callulose

المكون الرئيسى فى غلاف الخلايا النباتية، يتألف من بقايا جزيئات الجلوكوز، ويعتبر القطن الذى يستعمل فى إنتاج الأقمشة سليولوزا نقيا جدا، ويصنع الورق من السليولوز.

صوديوم Sodium

Na من مركبات الصوديوم المعروفة كربونات الصوديوم الطبيعية «الصودا» NA_2 CO_3 وهو يحتل المركز السادس من حيث انتشاره فى الطبيعة فى صورة الملح، وينتشر فى جو الشمس وماء البحر والنباتات ويتصف بفاعليته فى نقل الكهرباء، وينتمى إلى الفلزات القلوية وهو نشيط جدا كيميائيا، ويتفاعل مع الأكسجين معطيا أكسيد الصوديوم، ويتفاعل مع النشادر مكونا أميد الصوديوم.

فيتامينات Vitamins

من الكلمة اللاتينية Vita وتعنى الحياة وهى من مواد عضوية ذات بناء كيميائى خاص وضرورية للإنسان والحيوان بكميات قليلة تشترك فى عمليات التمثيل الغذائى،

ويسبب خلو الغذاء من الفيتامينات الإصابة بمرض نقص الفيتامين، ويؤدى وجودها في الغذاء بكميات كبيرة إلى الإصابة بمرض زيادة الفيتامين وتقسم الفيتامينات إلى ذائبة في الماء وذائبة فى الدهون.

قلويات Aldalies

تكون فى المحلول المائى تركيزا عاليا من أيونات الهيدروكسيل (-OH) ، وهى مواد صلبة بيضاء.

كحولات Alcohols

مركبات عضوية تحتوى على مجموعة هيدروكسيل OH مرتبطة بشق هيدركوبونى، وتصنف الكحولات تبعا لعدد المجموعات الهيدروكسيلية الموجودة فيها إلى كحولات أحادية الهيدروكسيل، وهى تذوب جيدا فى الماء، وتتكون الكحولات أثناء تخمر المواد السكرية وتستعمل على نطاق واسع فى صناعة العقاقير الطبية والعطور وغيرها.

كربون Carbon

تشكل مركبات الكربون الجزء الرئيسى فى جميع المواد العضوية وقد خصص لها فرع مستقل فى الكيمياء يدعى الكيمياء العضوية.

كربونات Carbonates

أملاح حمض الكربونيك، وهى نوعان: كربونات عادية وأخرى حمضية تذوب فى الماء، وللكربونات الحمضية وظيفة فسيولوجية هامة حيث تقوم بتنظيمه PH الدم.

كربوهيدرات Carbohydrates

أحد المركبات العضوية الهامة واسعة الانتشار فى الطبيعة وتحتوي على الكربون والهيدروجين والأكسيجين وهى عبارة عن كحولات ألدهيدية أو كيتونية، وتقسم إلى كربوهيدرات بسيطة ومعقدة وثنائية وهى تلعب دورا هاما فى عملية التمثيل الغذائى باعتبارها مصدرا أساسيا للطاقة.

كواشف كيميائية Chemical Reagents

مواد كيميائية تستعمل فى التحليل الكيميائى والأبحاث العلمية حيث تسمح فى شروط معينة بالكشف عن مادة واحدة.

كوليسترول Cholesterol

كحول متعـدد الحلقات وأحادى الهيدروكسيل ينتمى إلـى الإستيرولات يوجد فى الأجسـام الحيـة إما بشكل حـر أو على شكل أسـترات تدخل فى تركـيبـها الأحـماض الدهنية، ويسبب اخـتلال تمثيله فى الجسم إلى عدد من الأمـراض مثل تصلب الشرايين والتهاب المرارة وغيرها.

كيمياء Chemistry

علم يدرس العناصر الكيميائيـة ومركباتها والتفاعلات المتبادلة فـيما بينها، وتقسم الكيـمياء إلـى عدة فروع هى: الـكيمـياء اللاعضـوية والعضـوية والكيـمياء الـفيزيائـية والتحليلية، وتتشابك الكيمياء مع علوم أخـرى مما يؤدى إلى ظهور فروع عملية مشتركة مثل البيوكيمياء (الكيمياء الحيوية) والكيمياء الجيولوجية والكيمياء الزراعية وغيرها.

كيمياء حيوية Biochemistry

علم يدرس التركيب الكيميائى للكائنات الحية والتـحولات الكيميائية التى تتعرض لها المواد أثناء النشاط الحيوى لهذه الكائنات.

ليبيدات Lipids

تعنى الدهن والمواد الشـبيـهة بها وهى لا تذوب فـى الماء ولكنها تذوب جـيدا فى الكحولات كما ينتـمى إليها الدهون والشموع والإستيرولات وهى مـواد بيولوجية هامة تدخل فى تركيب جميع الخلايا الحية.

ماء Water

هو أكسـيد الهـيدروجين H_2O ، مركب كـيمـيائى للهـيدروجين مع الأكـسجين، ويتكون من ٨٨,٨٪ أكسجين و ١١,٢٪ هيـدروجين، وهو سائل شفاف لا لون له ولا طعم ولا رائحة وهو أكثر المواد انتشارا فى الطبـيعة ويدخل فى تركيب المعادن والصخور والنباتات والحيوانات ويذوب فيه العديد من الأمـلاح والأحماض والقواعد اللاعضوية، وهناك عدد كبير من التفـاعلات لا يجرى إلا فى وجود الماء الذى يلعب دور الوسيط فى تلك التفاعلات.

نتروجين Nitrogen

يشكل النتروجين ٧٨٪ من حجم الجو المحيط بالأرض ويوجد فى الطبيعة على شكل نترات ويدخل فى تركيب البروتينات والأحماض النووية والكلوروفيل والإنزيمات والهرمونات والفيتامينات.

هدم Catabolism

تفكك المواد العضوية فى الجسم الحى مع تحرر كمية من الطاقة ضرورية للنشاط الحيوى وأهم عمليتى هدم فى الجسم هما التنفس والتخمر.

هورمونات Hormones

مواد فعاله بيولوجيا تتكون بكميات قليلة فى الجسم، وهى تنظم عمليات التمثيل الغذائى، وتتكون هرمونات الإنسان والحيوان فى الغدد ذات الإفراز الداخلى ثم تذهب إلى الدم مباشرة، وتؤدى زيادة أو نقص الهرمونات فى الجسم إلى الإصابة بأمراض الغدد المختلفة، وينظم الجهاز العصبى إفراز الهرمونات مّن الغدد الصماء، ويعرف حاليا حوالى ثلاثين هرمونا.

التمثيل الغذائى : Metabolism

عقب عمليتى هضم الغذاء وامتصاصه، تبدأ مرحلة الاستفادة منه بما يسمى بالتمثيل الغذائى أو الأيض، وينقسم الأيض إلى عمليتين رئيسيتين هما: عملية هدم Catabolism وعملية بناء Anabolism، وبعد أن تمتص المواد الغذائية المهضومة فى صورها النهائية وهى الجلوكوز والأحماض الدهنية والأحماض الأمينية تسلك الطرق التالية:

- تتأكسد كيميائيا لتزويد الجسم بالطاقة اللازمة لمختلف العمليات الفسيولوجية وتعتبر عملية هدم.
- يتخلق منها بروتوبلازم جديد للخلايا والأنسجة النامية أو المجددة وتعتبر عملية بناء.
- تختزن لحين الحاجة إليها فيختزن الجلوكوز فى صورة جليكوجين فى الكبد والدهن يختزن فى مخازن الدهن.

والهدم والبناء عمليتان فسيولوجيتان تجريان فى كل خلية حية وهما فى حالة اتزان، وتتم كل منهما بسلسلة من التفاعلات الكيميائية المعقدة.

قائمة المراجع

١- أبو العلا عبد الفتاح، محمد صبحى حسانين (١٩٩٧) «فسيولوجيا ومورفولوجيا الرياضى وطرق القياس والتقويم» الطبعة الأولى، دار الفكر العربى، القاهرة، .

٢- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٤) «فسيولوجيا الرياضة» الطبعة الثانية، دار الفكر العربى، القاهرة، .

٣- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٠) «الكيمياء الحيوية فى المجال الرياضى»، دار الفكر العربى، القاهرة، .

٤- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٢) «بيولوجيا الرياضة والأداء الحركى»، دار الفكر العربى، القاهرة.

٥- بهاء الدين إبراهيم سلامة، (١٩٩٣) «العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوى للطاقة والعتبة الفارقة اللاهوائية لدى لاعبى التحمل والسرعة»، مؤتمر رؤية مستقبلية للتربية والرياضة فى الوطن العربى، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم، جامعة حلوان.

٦- بهاء الدين إبراهيم سلامة، (١٩٩٣)، «تتبع معدل ضربات القلب وأقصى استهلاك للأكسجين والسرعة أثناء الجرى على أرض مستوية ومرتفعه ومنحدرة لدى لاعبى المسافات الطويلة» مؤتمر رؤية مستقبلية للتربية البدنية والرياضة فى الوطن العربى، كلية التربية الرياضة للبنين بالهرم جامعة حلوان.

٧- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٧)، «تحديد بعض أزمنة الجرى ومسافات العدو المرتبطة بعمليات الأيض الهوائى واللاهوائى لإنتاج الطاقة لدى ناشىء كرة القدم، المجلة العلمية للتربية البدنية والرياضة، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم، جامعة حلوان.

٨- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٠) «تأثير التدريب مرتفع ومنخفض الشدة على وزن الجسم ونسبة الدهن وكولسترول الدم وليبوبروتين عالى ومنخفض الكثافة» المجلة العلمية للتربية البدنية والرياضة، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم، جامعة حلوان.

٩- محـمد حـسن علاوى (١٩٧٩)، «علم التـدريب الرياضى» الطبـعة السـادسة، دار المعارف بمصر.

١٠- محـمد حسن عـلاوى، أبو العلا عـبد الفتـاح (١٩٨٤)، «فسيـولوجيـا التدريب الرياضى، دار الفكر العربى، القاهرة.

١١- محمـد على أحمد، صلاح منسى (١٩٩٦)، «تـأثير المجهود البدنى حـتى الإنهاك على إنزيم كرياتين فـوسفوكينيـز والجلوكوز وحمض اللاكتـيك فى الدم وعلاقتـهما ببعض المتغـيرات الفسيوكيـميائية والإنجاز الرقمى عند مـجموعة عمرية مـختارة من السبـاحين»، المجلة العلمية للتربيـة البدنية والرياضـة، كلية التربية الرياضـية للبنين بالهرم، جامعة حلوان، العدد السادس والعشرون.

١٢- محـمد نصر الدين رضوان (١٩٩٨)، «طرق قـياس الجهد البـدنى فى الرياضة»، مركز الكتاب للنشر، القاهرة.

13- Ahlborg, G. (1982), Influance of glucose ingestion on Fuel - hormone responsc during prolonged exercise.J. App. Physiol 41: 686-688.

14- Ahlborg, G., Bgorkman, O. (1990), Splanchnic and muscle Fructose metabolism during and after exercise.J. APP. Physiol. 69: 1244-1251.

15- Arthur.W. (1995), The blood Lactate Response to exercise, Human Kintics, Champaign, Illinois.

16- Brooks, G.A., Butterfied, E., Wolfe, R.R. (1991), Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300 m, J. APP. Physiol, 70: 919-927.

17- Brian, J. Sharkey. (1994), Physiology of Fitnes, Human Kinetics, Champigy, Ill.

18- Coggan, A.R., Habash, D.L., (1993)., Muscle Metabolism during exercise in young and older untraind and endurance - traind men., T. APP. Physiol.

19- Coyle, E.F., Hamilton, M.T. (1991), Carbohydrate Metabolism during intense exercise When hypergly cewic. J. APPl. Physiol, 70: 834- 840.

20- Edwards, H.T., Margaria, R. (1993), Metabolic rate, blood Sugar and the utilization of carbohydrate, A.J. Physiol, 108: 203-209.

21- Gollnick, P.D, Bayly, W.M. (1988), Exercise intensity, training, diet, and Lactate Concentration in muscle and blood, Med. Sci. Sports Exercis, 18: 334-340.

22- Hargreaves, M., Costill, D.L, (1988), Effect of Carbohydtate ingestion on exercise metabolism .J. APPl. physiol. 65: 1553-1555.

23- Hurley, B.F., Hagberg, J.M., (1997)., Muscle triglycerid utilization during exercise: effect of training. J. APP. Physiol, 60: 562-567.

24- Lamb, J., Ingram, C.J., (1984), Essentials of physiology, Second Edition, Blackwell Scientific Publication, New york.

25- Marliss, E.b.,etal., (1991), Vranic, M. Glucoregulatory and horomonal responses to repeated bouts of intense exercise in normal mal Subjects . J. APPl. Physiol. 71: 92 4-933.

26- Mar Hargreavs., (1995) Exercise Metabolism, Human Kinatics publishers, Champdign, Ill.

27- Martineau, L., Jacobs, I., (1988)., Muscle Glycogen utilization during Shivering Thermogenesis in human, J. APP.. physiolo 65: 2046-2o50.

28- Mark,, J. D., (1996)., Carbohydartes, Branched, Chain Amino ocids, and Endurance: the Central Fatigu hypothesis, Sports since) Exchang, Vol, 9. N.2.

29- Mendenhall, L.A. (1994)., Ten days of exercise training reduces glucose producation and utilization during moderate - intensity exercise. Amer. J. Physiol- 266.

30- Randle, P.J., Garland, P.B., (1968)., the glucose Fatty acid Cycle, its rolein insulin Sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus, Lacet.

31- Ronald, J.M. (1996)., Reydration and Recovery after Exercise, Sport Science exchang, vol.9.

32- Rowell, L.B. (1996)., Human Circulation regulation during physical Stress, New york, Oxford university press, 41 9.

33- Shaw, W.A.S., (1975)., Interrelationship of FFA and glycerol turnovers in resting and exercising, I. APP. physiol. 39: 30-36.

34- Sonne, B., Gelbo, H., (1985)., Carbohydrate metabolism during and after exercise. J. APP. Physion, 59: 1627-1639.

35- Stewart, H.B., Tubbs, P., (1993)., Intermediates in Fatty acid oxidation, Biochen .J. 132: 61-76.

36- Stanley, W. C., Wisneski, J.A., (1996)., Glucose and lactate intesrelations during moderate - intisity exercise in humans. Metabolism, 37: 850- 858.

37- Taylor, D.J., Styles, P., Matthews, P.M., (1986)., Energetics of Human Muscle: Exercise - induced ATP depbtion Mag. Resonance Med.

38- Tullson, P.c., whitlock, D.A., (1990)., Adenine nucleotide degradation in Slowtwith red muscle. Am .J. Physiol.

39- Tullson, P.C., Terjung, R.L., (1992)., Adenin nucleotid metabolism in Contracting Skeletal muscle. Ex. Sports Sci, Rev. 19: 507-537.

40- Wasserman, K., (1986)., Mechanisms and Patterns of blood lactate in creuse during exercise in man, Med. Sci. Sports Exer 18: 344-352.

41- Wilmore, J. H., and David, L.C., (1994)., physiology of Sports and exercise, Human kinerics. books, champaign, Illinois.

42- Wolf, B.M., Klein, S.P., (1988)., Effect of elevated free fatty acids on glucose oxidation in normal humans, Metabolism 37: 323- 329.

43- Wolf, B.M., Klein, S.P., (1990)., Role of triglyceride - Fatty acid Cycle in Contrōlling fat metabolism in human during and after exercise, Am J. Phy siol. 258: 382 - 389.

44- Wolfe, R. R., (1992)., Radioactive and stable isotope tracers in biomedicine, New york. Wiley - Liss, 133 - 142.

45- Wolf, R.R., Jahoor, F. M., (1998)., Evaluation of the isotopic equilibration between Lactate and pyruvate. Am . J. Phy siol. 254 (EndoCrinol. Mctab.).

46- wolf, R. R., Wolf, M. H., Nadel, E. R., (1986)., Isotopic determination of amino acid - urea imteractions in exercise in humans. J. APP. Physiol, 56: 221-229.



رقم الإيداع	٩٩/٢١٠٨
I. S. B. N الترقيم الدولى	977- 10 - 1215 - 0

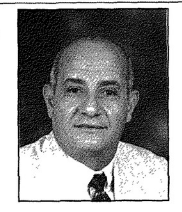
هذا الكتاب

يقدم شرحا وافيا لطبيعة التغيرات الكيميائية التى تحدث فى جسم الإنسان نتيجة عمليات التمثيل الحيوى للطاقة وعلاقتها بعمليات التكيف التى تحدث لأعضاء وأجهزة الجسم لكى تواجه الجهد والتعب الناتج عن أنواع التدريب البدنى.

ويقدم الكتاب تحليلا لأدق عمليات أيض الطاقة للمواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية وكيف يتم الاستفادة منها أثناء مختلف عمليات التدريب البدنى.

كما يتناول عرضا وافيا لموضوعات أيض الطاقة والوظائف الحيوية لجميع الهورمونات والإنزيمات التى تشترك فى إتمام عمليات إخراج الطاقة.

كما يتناول أيضا الأيض الهوائى واللاهوائى للطاقة ومراحل عمليات الاستشفاء التى تحدث بجسم الفرد الرياضى عقب التدريب البدنى.



الدكتور

بهاء الدين إبراهيم سلامة

- ※ أستاذ فسيولوجيا الرياضة.
- ※ رئيس قسم علوم الصحة الرياضية بكلية التربية الرياضية جامعة المنيا.
- ※ عضو المجلس الدولى للصحة والتربية البدنية. والترويح
- ※ عضو بعدة هيئات علمية ومهنية.
- ※ محاضر بالأكاديمية الأولمبية لإعداد القادة.
- ※ له عدد كبير من البحوث العلمية المنشورة فى دوريات ومؤتمرات محلية ودولية.
- ※ أشرف على عديد من رسائل الماجستير والدكتوراه.
- ※ له مؤلفات علمية من بينها:
  - فسيولوجيا الرياضة.
  - الصحة والتربية الصحية.
  - بيولوجيا الرياضة والأداء الحركى.
  - الكيمياء الحيوية فى المجال الرياضى.
  - الجوانب الصحية فى التربية الرياضية.
  - فى علم وظائف الأعضاء.
  - مقدمة فى علم وظائف الأعضاء.
  - صحة الغذاء ووظائف الأعضاء.